



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**Diseño electromecánico de la pequeña central hidroeléctrica
nagen para suministro eléctrico a las comunidades nativas
pertenecientes al distrito de el Cenepa-provincia de
Condorcanqui-región Amazonas**

Autor:

Bach. Yamner Antony Correa Castillo

Asesor:

Dr. Carranza Montenegro Daniel

LAMBAYEQUE – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**Diseño electromecánico de la pequeña central hidroeléctrica
najén para suministro eléctrico a las comunidades nativas
pertenecientes al distrito de el Cenepa-provincia de
Condorcanqui-región Amazonas**

Autor:

Bach. Yamner Antony Correa Castillo

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE : MSc. Ing. YUPANQUI RODRIGUEZ CARLOS
SECRETARIO : Ing. NIÑO VASQUEZ PERCY EDWAR
MIEMBRO : MSc. Ing. COTRINA SAAVEDRA CARLOS
ASESOR : Dr. Ing. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL

LAMBAYEQUE – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
TESIS

TITULO:

Diseño electromecánico de la pequeña central hidroeléctrica najen para suministro eléctrico a las comunidades nativas pertenecientes al distrito de el Cenepa-provincia de Condorcanqui-región Amazonas

CONTENIDOS

- CAPITULO I** : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.
CAPITULO II : MARCO TEÓRICO.
CAPITULO III : MARCO METODOLÓGICO.
CAPITULO IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN
CAPITULO V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.
CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Bach. Yamner Antony Correa Castillo

Msc. Ing. Carlos Yupanqui Rodríguez
PRESIDENTE

Ing. Percy Edwar Niño Vásquez
SECRETARIO

Msc. Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra
MIEMBRO

Dr. Carranza Montenegro Daniel
ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ
2024

DEDICATORIA

A DIOS, quien es mi fortaleza espiritual
para superar los obstáculos y dificultades a
lo largo de nuestras vidas.

A MIS PADRES Y HERMANOS, por
sus consejos y palabras de aliento que
me han servido de mucha ayuda para
lograr superarme a ser un profesional.

Bach. YANIER ANTONIO CORREA CASTILLO

AGRADECIMIENTO

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO, por la gran formación profesional recibida durante toda mi etapa como estudiante universitario.

A DIOS, por darme buena salud y buenas energías para salir adelante y guiarme a ser una persona de bien.

A MI MADRE Y HERMANOS, por inculcarme buenos valores, por brindarme su apoyo a lograr mis metas de ser un profesional.

A LOS DOCENTES DE LA FIME, por sus consejos y brindarme una buena preparación académica durante toda la etapa universitaria.

A mi asesor Dr. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL, por la orientación, paciencia, compromiso y apoyo en el desarrollo de mi tesis de investigación.

Back. YANIER ANTONY CORREA CASTILLO

RESUMEN

En el contexto peruano, se observa una marcada escasez de energía eléctrica en poblaciones distantes de las principales urbes del país, particularmente en aquellas situadas en áreas rurales y de la selva peruana, que mayoritariamente coinciden con comunidades de bajos recursos económicos. Un ejemplo de esta realidad se encuentra en 13 comunidades nativas pertenecientes al distrito del Cenepa, provincia de Condorcanqui, en la región de Amazonas.

En estas comunidades, la ausencia y deficiencia del servicio eléctrico se suple mediante la utilización de grupos electrógenos. Sin embargo, esta solución es adoptada de manera minoritaria en los hogares que cuentan con los recursos económicos necesarios para adquirir y mantener estos equipos. Es importante destacar que el funcionamiento de estos grupos electrógenos se basa en el uso de combustibles como gasolina y/o petróleo, lo que tiene consecuencias perjudiciales para el medio ambiente, contribuyendo a la contaminación.

En contraste, otros habitantes recurren a métodos más tradicionales, como el uso de velas y mecheros, para suplir sus necesidades de iluminación. La falta de acceso a la energía eléctrica no solo afecta la calidad de vida diaria de estos pobladores, sino que también se vincula directamente con el subdesarrollo de las comunidades en cuestión.

En respuesta a esta problemática, se está llevando a cabo un proyecto que tiene como objetivo proporcionar a la población de estas comunidades un acceso permanente y de calidad a los servicios de energía eléctrica. Este proyecto no solo busca mejorar las condiciones de vida cotidiana, sino que también aspira a ser una herramienta clave para el desarrollo educativo, comercial y para facilitar diversas actividades cotidianas. En resumen, el proyecto tiene como finalidad abordar la carencia de energía eléctrica como un catalizador para el progreso integral de estas comunidades, contribuyendo así a su desarrollo sostenible.

Palabras clave: escasez de energía eléctrica, comunidades rurales, grupos electrógenos, combustibles, contaminación ambiental, acceso a servicios básicos, subdesarrollo, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

In the Peruvian context, a marked shortage of electrical energy is observed in populations far from the main cities of the country, particularly in those located in rural areas and the Peruvian jungle, which mostly coincide with low-income communities. An example of this reality is found in 13 native communities belonging to the Cenepa district, Condorcanqui province, in the Amazonas region.

In these communities, the absence and deficiency of electrical service is made up for through the use of generator sets. However, this solution is adopted in a minority in households that have the necessary financial resources to acquire and maintain this equipment. It is important to highlight that the operation of these generating sets is based on the use of fuels such as gasoline and/or oil, which has harmful consequences for the environment, contributing to pollution.

In contrast, other inhabitants resort to more traditional methods, such as the use of candles and lighters, to meet their lighting needs. The lack of access to electrical energy not only affects the daily quality of life of these residents, but is also directly linked to the underdevelopment of the communities in question.

In response to this problem, a project is being carried out that aims to provide the population of these communities with permanent and quality access to electrical energy services. This project not only seeks to improve daily living conditions, but also aspires to be a key tool for educational and commercial development and to facilitate various daily activities. In summary, the project aims to address the lack of electrical energy as a catalyst for the comprehensive progress of these communities, thus contributing to their sustainable development.

Keywords: shortage of electrical energy, rural communities, generating sets, fuels, environmental pollution, access to basic services, underdevelopment, sustainable development.

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Realidad Problemática.....	2
1.1.1. A nivel internacional	2
1.1.2. A nivel nacional.....	2
1.1.3. A nivel local.....	2
1.2. Formulación del Problema	3
1.2.1. Delimitación espacial	3
1.2.2. Delimitación temporal	4
1.3. Justificación e Importancia del estudio	4
1.3.1. Justificación Ambiental	4
1.3.2. Justificación Social	5
1.3.3. Justificación Científica.	5
1.4. Limitaciones de la Investigación.....	5
1.5. Objetivos de estudio	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivo Específicos.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de Estudios.....	7
2.1.1. A nivel Internacional	7
2.1.2. A nivel Nacional.....	8
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado.....	9
2.2.1. Energía hidráulica.....	9
2.2.2. Pequeñas centrales hidroeléctrica	10
2.2.3. Clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas	11

2.2.4. Tipos de centrales hidroeléctrica.	12
2.2.5. Componentes de las centrales hidroeléctricas.	18
2.2.6. Principio de funcionamiento de una pequeña central hidroeléctrica.	19
2.2.7. Estudios para la construcción de una PCH.....	21
2.2.8. ESTUDIO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.....	25
2.2.9. EVALUACIÓN DEL RECURSO HIDROENEGÉTICO.....	33
ÓRGANOS PRINCIPALES DE UNA TURBINA FRANCIS.	55
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	60
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	62
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	62
3.2. Población y muestra	62
3.3. Técnicas de muestreo	62
3.4. Hipótesis.....	62
3.5. Variables - Operacionalización	62
3.6. Métodos y Técnicas de investigación.....	64
3.7. Descripción de los instrumentos utilizados	64
3.8. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	64
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	65
4.1. Propuesta de estudio.....	65
4.2. Descripción del sistema propuesto.....	65
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	68
5.1. Estudio Hidrológico	68
5.1.1. Descripción General de la Cuenca.....	68
5.1.2. Análisis de la Precipitación	71
5.1.3. Factores que pueden afectar el caudal del río Najen	73
5.1.4. Estimación de caudales medios	75
5.1.5. Caudales Medios Mensuales	80
5.1.6. Caudal ecológico	82
5.1.7. Análisis de máximas avenidas	84
5.2. Estudio de Mercado Eléctrico	85
5.3. Dimensionamiento de los componentes de la pequeña central hidroeléctrica NAJEN.	87
5.3.1. Determinación del tipo de turbina	87
5.3.2. Cálculo de la potencia del generador.....	99
5.4. Equipamiento de las subestaciones consideradas.....	100
5.4.1. Parámetros de diseño	100

5.4.2. Coordinación de Aislamiento	100
5.4.3. Distancia de seguridad.....	101
5.4.4. Red a tierra.....	105
5.4.5. Sistemas de Medición.....	106
5.4.6. Sistema de protección.....	106
5.5. Cálculo del presupuesto de la pequeña central hidroeléctrica NAJEN.	110
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
6.1. Conclusiones	111
6.2. Recomendaciones.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS.....	113
ANEXOS	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Relación de comunidades sin suministro eléctrico</i>	3
Tabla 2 <i>Clasificación para pequeños aprovechamientos energéticos</i>	11
Tabla 3 <i>Clasificación para pequeños aprovechamientos energéticos</i>	12
Tabla 4 <i>Evaluación de la demanda potencial por el método de Ramiro Ortiz</i>	31
Tabla 5 <i>Demanda actual para distintas poblaciones</i>	32
Tabla 6 <i>Comparación de técnicas</i>	35
Tabla 7 Dimensiones de la casa de máquinas	49
Tabla 8 Operacionalización de variables	63
Tabla 9 Parámetros básicos de la central hidroeléctrica Najen	66
Tabla 10 Descripción técnica de la central hidroeléctrica Najen	66
Tabla 11 Parámetros geomorfológicos de las cuencas de interés	70
Tabla 12 Ubicación de las estaciones	72
Tabla 13 Caudal medio por Zonas de Vida – Río Najen	78
Tabla 14 Cálculo de la velocidad promedio y caudal de diseño	80
Tabla 15 Serie de caudales medios mensuales del Río Najen.	81
Tabla 16 Caudal ecológico estimado en cada alternativa.	83
Tabla 17 Resumen de Estudio de Mercado Eléctrico – Proyección de Máxima Demanda	86
Tabla 18 Principales características de la tubería de presión	96
Tabla 19 Velocidades síncronas para diferentes números de polos	99
Tabla 20 Resumen de las Tensiones Soportadas Específicas Mínimas – S.E. Najen	100

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación del Cenepa en Amazonas	4
<i>Figura 2.</i> Centrales de pasada o de filo de agua	13
<i>Figura 3.</i> Central hidroeléctrica de pasada.....	14
<i>Figura 4.</i> Centrales de embalse o regulación.....	15
<i>Figura 5:</i> Central hidroeléctrica de embalse.....	16
<i>Figura 6.</i> Centrales de almacenamiento por bombeo	17
<i>Figura 7:</i> Central hidroeléctrica de bombeo	18
<i>Figura 8.</i> Componentes de una central hidroeléctrica	18
<i>Figura 9.</i> Proceso de conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica	20
<i>Figura 10:</i> Esquema típico de una PCH	21
<i>Figura 11:</i> Ejemplo de Diagrama de la proyección del CUD por año	28
<i>Figura 12:</i> El concepto de salto o caída.....	34
<i>Figura 13:</i> Método del eclímetro y wincha	36
<i>Figura 14:</i> Rejilla de la cámara de presión.....	38
<i>Figura 15:</i> Detalle de la Rejilla	38
<i>Figura 16:</i> Valores del coeficiente	39
<i>Figura 17</i> Álabes de turbinas de reacción afectados por la cavitación.	40
<i>Figura 18</i> Altura del tubo difusor, H_s , para evitar la cavitación.....	40
<i>Figura 19</i> Coeficiente de Thoma.....	41
<i>Figura 20</i> Amortización (anualidad) y costo de la energía perdida según del	42
<i>Figura 21</i> Valor total del costo por amortización y el costo de la energía perdida según el diámetro de tubería	42
<i>Figura 22:</i> Esquema de una tubería forzada en una Central Hidroeléctrica	43
<i>Figura 23:</i> Tuberías de acero sin costura.....	45
<i>Figura 24</i> Vista en planta de la casa de máquinas	50
<i>Figura 25:</i> Esquema de la turbina Pelton	52
<i>Figura 26:</i> Esquema de la turbina Francis.....	53
<i>Figura 27</i> Caracol de una turbina Francis	55
<i>Figura 28</i> Directrices del distribuidor	55
<i>Figura 29</i> Rodete Turbina Francis	56
<i>Figura 30</i> Tubo de desfogue de una turbina Francis.....	57
<i>Figura 31:</i> Esquema de la turbina Michell-Banki	57
<i>Figura 32</i> Triángulo de velocidad referencial a la entrada de un rodete Lento	58
<i>Figura 33</i> Triángulo de velocidad referencial a la entrada de un rodete normal	59
<i>Figura 34</i> Triángulo de velocidad referencial a la entrada de un rodete rápido	59
<i>Figura 35.</i> Ubicación de proyecto.....	69
<i>Figura 36.</i> Mapa de estaciones pluviométricas utilizadas.....	71
<i>Figura 37.</i> Histograma de precipitación de la estación analizada	72
<i>Figura 38.</i> Labores de campo en el río Najen	73
<i>Figura 39.</i> Vista del río Najen.....	75
<i>Figura 40.</i> Mapa de zonas de vida de las cuencas Rio Najen	76
<i>Figura 41.</i> Nomograma de Movimientos de agua en asociaciones climáticas	77
<i>Figura 42.</i> Representación de la sección transversal del Río Najen	79

Figura 43. Caudal ecológico mensual.....	83
Figura 44. Precipitaciones Máx. y Mín. Estación Santa María de Nieva	84
Figura 45. Precipitaciones Máx. y Mín. Estación Chiriaco	85
Figura 46. Selección del tipo de turbina a utilizar	87
Figura 47 Clasificación de turbinas según n_s y n_q	90
Figura 48 Rodetes de turbinas Francis.....	90
Figura 49 Coeficientes Óptimos de velocidad en función de la velocidad específica.....	91
Figura 50 Coeficiente de velocidad tangencial en función de n_s	93
Figura 51 Esquema de dimensiones de una turbina Francis	94
Figura 52 Ángulo de ataque α_1 en función de n_s	94
Figura 53 Triángulos de velocidad a la entrada y salida del rodete de una turbina Francis	95
Figura 54 Triángulo de velocidad a la entrada de una turbina Francis.....	95
Figura 55 Anclajes propuestos.....	96
Figura 56 Perfil longitudinal de la tubería forzada	97

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito realizar el diseño electromecánico de una pequeña central hidroeléctrica (PCH) en el río NAJEN, provincia de Condorcanqui, departamento de Amazonas. Para ello se parte estudiando las necesidades eléctricas de los usuarios de las poblaciones aledañas al río, siendo 13 comunidades nativas pertenecientes al distrito del Cenepa que pueden beneficiarse de este estudio. En estas 13 comunidades nativas ubicadas en el distrito del Cenepa, provincia de Condorcanqui, región de Amazonas, la ausencia y falta de servicio eléctrico se suple mediante la utilización de grupos electrógenos. Estos equipos son empleados de manera minoritaria en los hogares que cuentan con recursos económicos para adquirirlos. Sin embargo, es importante señalar que el funcionamiento de estos grupos electrógenos se basa en el uso de combustibles como gasolina y/o petróleo, lo que contribuye de manera perjudicial a la contaminación del medio ambiente.

Por otro lado, algunos habitantes recurren a métodos más tradicionales, como el uso de velas y mecheros, para satisfacer sus necesidades de iluminación. La falta de acceso a energía eléctrica no solo afecta la calidad de vida de estos pobladores, sino que también se relaciona estrechamente con el subdesarrollo de las comunidades. En este contexto, el proyecto en proceso busca abordar esta problemática, aspirando a proporcionar a la población un servicio de energía eléctrica permanente y de calidad.

Se busca que este acceso a la energía eléctrica no solo mejore las condiciones de vida cotidiana, sino que también se convierta en una herramienta fundamental para el desarrollo educativo, comercial y de diversas actividades diarias. En esencia, el proyecto pretende ser un catalizador para el progreso integral de estas comunidades, atendiendo a sus necesidades básicas y fomentando un desarrollo sostenible que respete el entorno ambiental.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. A nivel internacional

“El 11% de la población mundial carece de acceso a la electricidad, un porcentaje preocupante. Las expectativas para 2030 no son muy halagüeñas, ya que en ese momento 650 millones de personas seguirán sin este derecho” (2019).

1.1.2. A nivel nacional

Con respecto al acceso a la energía eléctrica la página web ComexPerú (2020) indica que: “un 4,3% de la población aún no cuenta con este servicio”

El Perú presenta mayor carencia de energía eléctrica en pueblos alejados de las principales ciudades del país, en especial en los que están ubicados en zonas rurales y de la Selva peruana que en su mayoría son las de menores recursos económicos.

1.1.3. A nivel local

En 13 comunidades nativas (ver tabla 1) pertenecientes al distrito del Cenepa-provincia de Condorcanqui región Amazonas la ausencia y carencia de Servicio eléctrico se sustituye con el uso de grupos electrógenos, minoritariamente en las viviendas que poseen los recursos económicos, para adquirirlos y cuyo funcionamiento de dichos grupos electrógenos es con combustible como gasolina y/o petróleo; contribuyendo de manera perjudicial a la contaminación del medio ambiente. Otros habitantes utilizan velas, mecheros para su iluminación. La carencia al acceso de energía eléctrica, linda con el subdesarrollo de los pueblos; por lo que con el desarrollo del proyecto materia del proceso, se pretende que la

población tenga acceso a un servicio de energía eléctrica permanente y de calidad, y que sirva de herramienta de desarrollo educativo, comercial, y desarrollo de actividades cotidianas, etc.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo suministrar energía eléctrica a las comunidades nativas pertenecientes al distrito del Cenepa-provincia de Condorcanqui-Región Amazonas utilizando el recurso hídrico?

1.2.1. Delimitación espacial

Tabla 1
Relación de comunidades sin suministro eléctrico

Item	Comunidad
1	Tseasim
2	Achu
3	La Banda
4	Huampani
5	Kayamas
	Chávez
6	Valdivia
7	Yuwi Entsa
8	Nanchik Entsa
9	Canga
10	Kumpin
11	Aintam
12	Yuwi Entsa
13	Varios Distrital

Fuente: Elaboración propia

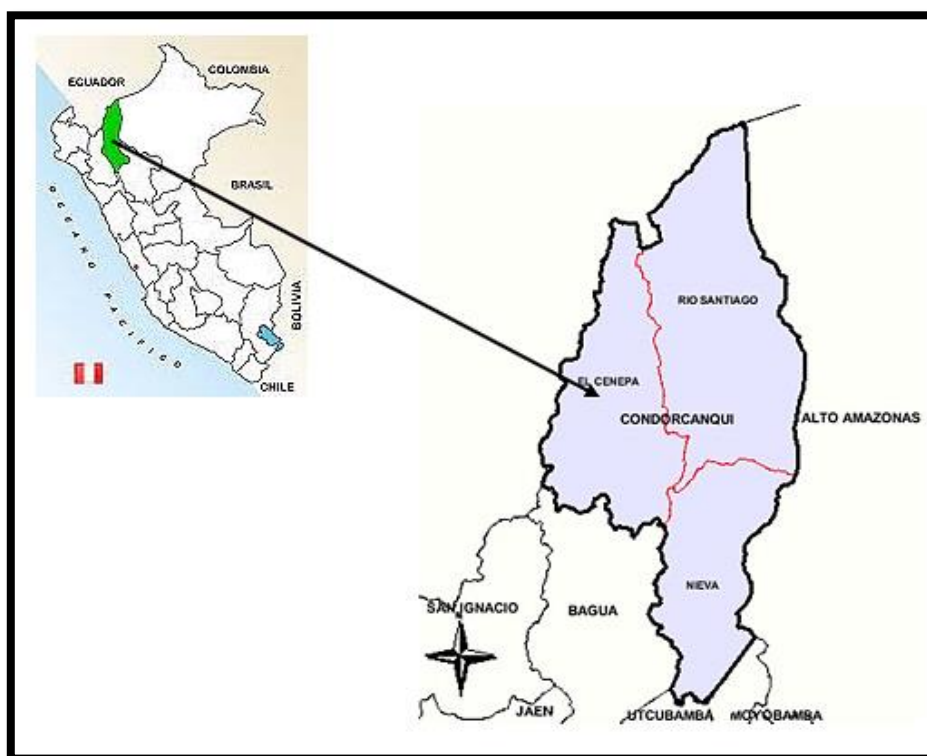


Figura 1. Ubicación del Cenepa en Amazonas

Fuente: (perutoptours, 2021)

1.2.2. Delimitación temporal

6 meses

1.3. Justificación e Importancia del estudio

1.3.1. Justificación Ambiental

Según OSINERMIN (2009) “los proyectos a desarrollarse utilizando energías renovables, que tienden a mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente” (pág. 4). El uso de la energía hidráulica va a traer como consecuencia la reducción de emisiones de gases contaminantes al medio ambiente debido a que no va a requerir de ningún combustible fósil.

1.3.2. Justificación Social

Con la presente investigación se busca mejorar los servicios básicos enfocados hacia la energía Eléctrica. Con el uso de la energía eléctrica se logrará que las comunidades nativas tengan mayores posibilidades de contar con nuevas fuentes de trabajo.

1.3.3. Justificación Científica.

Promover el uso de los recursos renovables como fuentes de generación de energía eléctrica.

1.4. Limitaciones de la Investigación

El estudio presenta la limitación de la zona aislada a la carretera y poca señal de radio en la zona, como también no poderse ejecutar un modelo de manera presencial.

1.5. Objetivos de estudio

1.5.1. Objetivo General

Realizar el diseño electromecánico de la pequeña central hidroeléctrica NAJEN para suministro eléctrico a las comunidades nativas pertenecientes al distrito del Cenepa-provincia de Condorcanqui-Región Amazonas.

1.5.2. Objetivo Específicos

- a) Calcular la demanda de energía eléctrica de las comunidades nativas pertenecientes al distrito del Cenepa-provincia de Condorcanqui región amazonas.
- b) Calcular la potencia eléctrica que producirá la pequeña central hidroeléctrica NAJEN.

- c) Dimensionar los componentes de la pequeña central hidroeléctrica NAJEN.
- d) Determinar el presupuesto de la pequeña central hidroeléctrica NAJEN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

2.1.1. A nivel Internacional

Colombia

En su tesis titulada "DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MUNICIPIO DE PISBA, BOYACÁ" (Morales y Saavedra, 2017), los autores señalan que la quebrada Farasí en el municipio de Pisba presenta un caudal promedio de $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$ con una duración porcentual anual del 52,33%. Tras determinar la reserva de un caudal de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ y establecer $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ como caudal de trabajo, los autores sostienen que el caudal obtenido es más que suficiente para generar una potencia de 656 kW (pág. 103).

Morales y Saavedra (2017) indican que el caudal obtenido es más que suficiente para generar una potencia de 656 kW.

Ecuador

En su tesis titulada "DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA ABASTECER LA DEMANDA DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE PLANTACIONES MALIMA CÍA. LTDA." (Palomeque y Valdez, 2019), los autores señalan que el consumo eléctrico mensual de dicha empresa asciende a 62,100 kW.h, lo que implicaría la necesidad de una capacidad instalada de aproximadamente 100 kW (pág. 82).

Asimismo, los mismos autores indican en la página 82 de su tesis que el caudal de diseño de la central hidroeléctrica es de $1,585 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo este valor inferior al caudal disponible. Con esta

observación, concluyen que la capacidad de generación puede satisfacer la demanda eléctrica actual y su proyección de crecimiento a largo plazo.

2.1.2. A nivel Nacional

Puno

De acuerdo con Goyzueta, en su tesis titulada "ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA DEL DISTRITO DE PHARA-SANDIA-PUNO", se señala que la demanda actual de energía eléctrica en el distrito de Phara es de 81,62 kW, proyectándose a 210,73 kW para el año 2041 (pág. 168).

La minicentral hidroeléctrica propuesta por el autor tiene la capacidad de generar una potencia de 220 kW, lo que no solo cubre el déficit existente, sino que también garantiza la demanda de energía eléctrica requerida por la población de cinco localidades en el distrito de Phara (pág. 168). Este proyecto, al satisfacer las necesidades energéticas proyectadas, representa una solución integral para el suministro eléctrico en la región, contribuyendo al desarrollo sostenible y al bienestar de la comunidad.

Cajamarca

Llamo (2016) en su tesis titulada: "Diseño De Una Mini Central Hidroeléctrica, Para Suministrar Energía Al Recreo Turístico La Catarata – Distrito, Provincia - Jaén, Departamento - Cajamarca -2016" indica que: "En relación a la producción anual de la mini central, con un factor de carga del 88%, se traduce en 228,602.88 kW·h/año, generando así un ingreso anual estimado de S/. 102,871.30 soles, considerando una tarifa de S/. 0.45 soles por kW·h (Morales y Saavedra, 2017, pág. 38). Esta cifra demuestra la viabilidad económica del proyecto,

destacando su potencial contribución al desarrollo sostenible y a la generación de ingresos para el municipio de Pisba en Boyacá.

Cajamarca

En su investigación titulada "Estudio técnico y económico de una mini central hidroeléctrica para suministrar energía eléctrica al sector La Arena, Distrito de Conchán, Chota, Cajamarca," Aguirre e Hidrogo (referencia completa) detallan que, tras realizar una visita técnica al sitio seleccionado con la ayuda de un topógrafo y una estación total, se determinó una altura bruta de caída de 31,32 metros y una longitud de 60 metros desde la cámara de carga hasta la turbina (pág. 155).

Adicionalmente, los autores destacan que la potencia proyectada para la minicentral hidroeléctrica es de 300,3076 kW. Sin embargo, señalan que esta cifra no tiene en cuenta las pérdidas de caudal que puedan ocurrir en el trayecto desde la toma de agua hasta la casa de máquinas (pág. 155). Este aspecto subraya la importancia de considerar y mitigar las posibles pérdidas para optimizar la eficiencia del sistema propuesto.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Energía hidráulica

"La energía hidráulica se refiere a un proceso de conversión de la energía gravitacional, generada por el flujo masivo del agua a través de la tubería de presión" (Ortiz, 2011, pág. 25). Alarcón (2016) complementa esta definición al afirmar que la energía hidráulica se origina tanto de la energía cinética del movimiento de masas de agua como de la energía potencial del agua disponible a cierta altura, siendo una consecuencia directa del ciclo del agua (pág. 4).

Adicionalmente, Alarcón (2016) expone que el Sol desencadena este proceso al evaporar agua de la superficie terrestre, incluyendo océanos y lagos. Posteriormente, esta agua evaporada, al precipitarse y fluir por la superficie de los terrenos, se convierte en una fuente capaz de proporcionar energía hidráulica (pág. 4). La interrelación entre los elementos del ciclo del agua y la conversión de energía hidráulica se convierte así en un componente esencial para comprender y aprovechar este recurso renovable.

2.2.2. Pequeñas centrales hidroeléctrica

Haciendo referencia a las centrales hidroeléctricas con una potencia instalada en el rango de 0,5 MW hasta 10 MW (Ortiz, 2011), se destaca que según Ingfocol Ltda (2015), una central hidroeléctrica se define como una instalación que aprovecha las masas de agua en movimiento en los ríos para convertirlas en energía eléctrica mediante turbinas acopladas a generadores (pág. 2).

Goyzueta (2017) amplía esta perspectiva al describir las pequeñas centrales hidroeléctricas como instalaciones de generación eléctrica con potencia mediana a baja, principalmente construidas en zonas aisladas y con una influencia limitada en el sistema de interconexión nacional (pág. 23). Según el autor, estas centrales se componen de obras civiles, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos que aprovechan las energías potencial y cinética del agua para producir energía eléctrica (Goyzueta E., 2017, págs. 23, 24).

En el mismo contexto, Goyzueta (2017) explica que la energía generada por estas centrales es conducida a los centros de consumo a través de líneas de transmisión, donde se utiliza para el alumbrado público, residencial, la operación de electrodomésticos y para cubrir las necesidades eléctricas de la zona donde se implementa el proyecto (pág. 24).

2.2.3. Clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas

La clasificación de las centrales hidroeléctricas de acuerdo a la potencia es la siguiente:

Tabla 2

Clasificación para pequeños aprovechamientos energéticos

Tipo	Potencia (kW)	Usuario
Picocentrales (PicoCHE)	0,5 y 5	Finca o similar
Microcentrales (MicroCHE)	5 y 50	Caserío
Minicentrales (MiniCHE)	50 y 500	Cabecera municipal
Pequeñas Centrales (PCH)	500 y 10000	Municipio

Fuente: (Ortiz, 2011, pág. 21).

En la obra de Morales y Saavedra (2017) titulada "DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MUNICIPIO DE PISBA, BOYACÁ", el término "pequeña central hidroeléctrica" se define como aquellas centrales con una capacidad instalada que oscila entre 0.2 kW, destinadas a abastecer hogares rurales individuales, y 500 kW, destinadas a suministrar energía a aldeas o actividades industriales, o ambas. Este rango de capacidad establece el marco para el diseño de la central hidroeléctrica en cuestión, demostrando que la generación de energía propuesta por los autores se alinea con la categoría de "pequeñas centrales hidroeléctricas". Además, la tesis proporciona una evaluación detallada del caudal disponible en la quebrada Farasí y sugiere que este recurso hídrico es más que adecuado para alcanzar una potencia de 656 kW, destacando la viabilidad y el potencial de la propuesta.

La clasificación de las centrales hidroeléctricas según su caída es la siguiente:

Tabla 3

Clasificación para pequeños aprovechamientos energéticos

Tipo	Caída (m)		
	Baja	Media	Alta
MicroCHE	$H > 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
MiniCHE	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
PCH	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Fuente: (Ortiz, 2011, pág. 28).

2.2.4. Tipos de centrales hidroeléctrica.

De acuerdo al tipo de aprovechamiento las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar en:

Centrales hidroeléctricas de pasada o de filo de agua:

Las centrales hidroeléctricas, también conocidas como centrales de agua fluyente, se caracterizan por desviar una porción del flujo del río mediante una toma, y posteriormente, canalizar este caudal hacia la central donde será sometido al proceso de turbina, según lo describe Mallitasig (2008, p. 5). Este método de aprovechamiento hídrico constituye una práctica eficiente en la generación de energía, aprovechando la fuerza del agua para producir electricidad de manera sostenible y renovable. Este enfoque no solo destaca por su contribución a la matriz energética, sino también por su impacto ambiental favorable al utilizar recursos naturales de manera responsable.

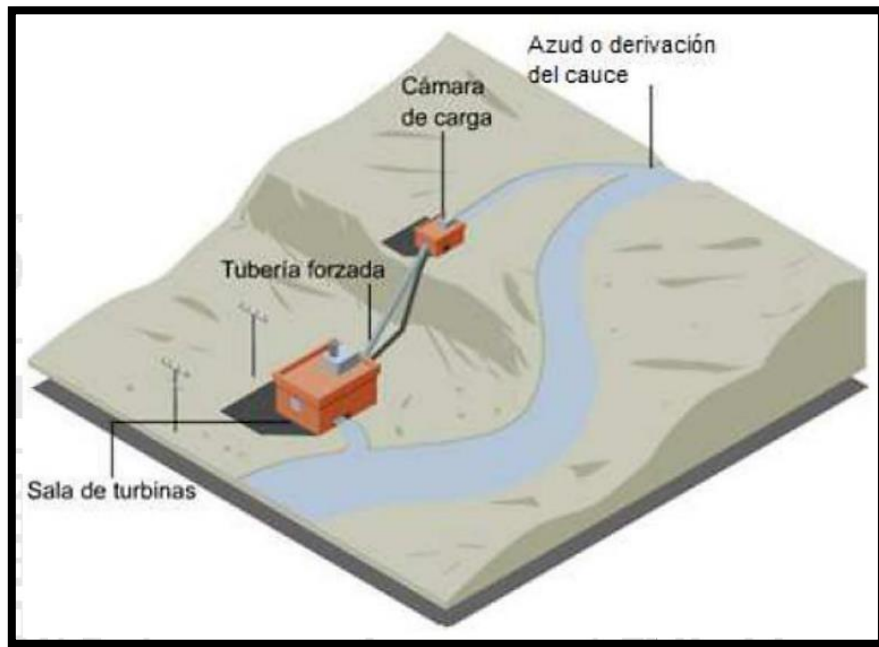


Figura 2. Centrales de pasada o de filo de agua

Fuente: (Mallitasig, 2008, pág. 6).

Según Mena & Mena (2015), las centrales hidroeléctricas, también conocidas como centrales de filo de agua o de pasada, aprovechan una porción del flujo de un río con el propósito de generar energía eléctrica (pág. 7). Estas instalaciones se construyen en lugares donde la energía hidráulica debe utilizarse inmediatamente para impulsar turbinas hidráulicas (Mena & Mena, 2015, pág. 7).

La operación continua de estas centrales se debe a la ausencia de capacidad para almacenar agua y la carencia de embalses, lo que resulta en fluctuaciones de caudal según las estaciones del año (Mena & Mena, 2015, pág. 7). Estos sistemas alcanzan su máxima potencia durante la estación de lluvias al permitir el paso del agua excedente. En contraste, durante la estación seca, la potencia tiende a disminuir en función del caudal disponible (Mena & Mena, 2015, pág. 8). Este enfoque operativo demuestra la adaptabilidad de estas centrales para aprovechar la energía hidroeléctrica de manera eficiente a lo largo del año.



Figura 3. Central hidroeléctrica de pasada

Fuente: (Mena & Mena, 2015, pág. 8)

Centrales de embalse o regulación

"Se refiere a una forma de aprovechamiento que contempla la construcción de un embalse en el curso del río con el propósito de almacenar sus aportaciones hídricas" (Mallitasig, 2008, pág. 6). Este tipo de instalaciones se caracteriza principalmente por su capacidad para regular los caudales de salida del agua, permitiendo la turbinación en momentos específicos cuando se necesite generar energía eléctrica (Mallitasig, 2008, pág. 6). En este contexto, Mallitasig (2008) destaca la importancia de esta capacidad de regulación en las centrales hidroeléctricas, ya que permite una gestión más eficiente y adecuada de los recursos hídricos para la generación de energía eléctrica de manera sostenible. Además, subraya la relevancia de esta técnica para optimizar la producción de electricidad según las demandas específicas de consumo.

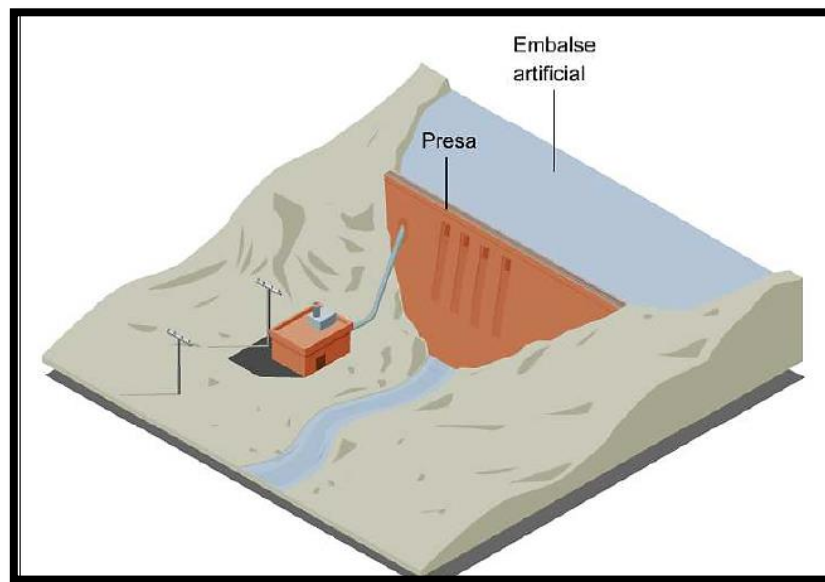


Figura 4. Centrales de embalse o regulación

Fuente: (Mallitasig, 2008, pág. 7).

Según Mena & Mena (2015), las centrales hidroeléctricas de embalse representan el tipo más común en la generación de energía hidroeléctrica. Este método implica la represación del agua proveniente de lagos o pantanos artificiales, los cuales son creados mediante la construcción de presas (pág. 8). El embalse tiene la capacidad de almacenar los caudales de los ríos afluentes, y el agua se utiliza según la demanda a través de conductos que la dirigen hacia las turbinas (Mena & Mena, 2015, pág. 8).

El aprovechamiento de este tipo de central permite generar energía de manera continua a lo largo del año, siempre y cuando se disponga de reservas suficientes. Sin embargo, es importante destacar que la construcción de estas centrales hidroeléctricas implica una inversión considerable (Mena & Mena, 2015, pág. 8). Además, es fundamental tener en cuenta que el impacto ambiental y social asociado con la construcción de embalses también debe considerarse en la planificación de estos proyectos energéticos.



Figura 5: Central hidroeléctrica de embalse

Fuente: (Mena & Mena, 2015, pág. 8)

Centrales de almacenamiento por bombeo

El sistema de almacenamiento por bombeo implica aprovechar la energía eléctrica excedente durante períodos de baja demanda para activar bombas (Mallitasig, 2008, p. 7). Esta técnica se utiliza para almacenar la energía en forma de agua en un nivel superior y liberarla posteriormente al descender el agua, generando electricidad. Además, Mallitasig destaca la relevancia de este método en la gestión eficiente de la energía eléctrica y su contribución a la estabilidad del suministro energético.

Tal como se muestra en la figura 6, las bombas bombean el agua desde el embalse inferior al embalse superior.

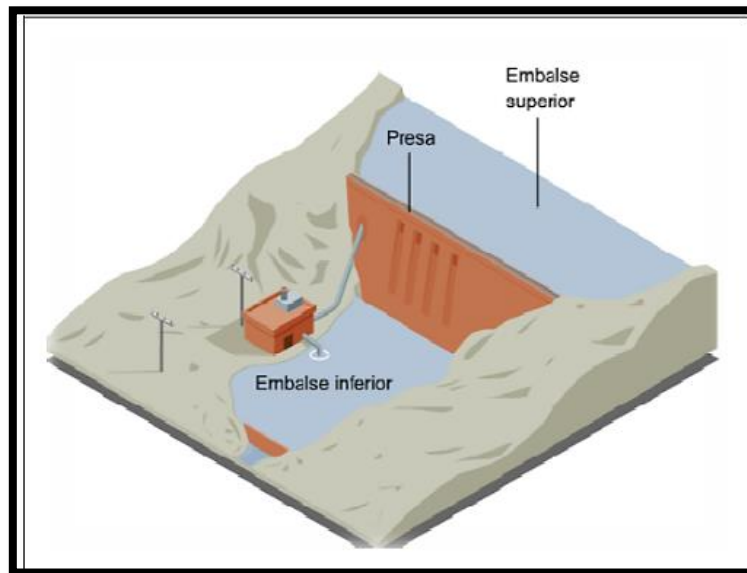


Figura 6. Centrales de almacenamiento por bombeo

Fuente: (Mallitasig, 2008, pág. 8).

De acuerdo con la información proporcionada por Mena y Mena (2015), las centrales reversibles, también conocidas como centrales de acumulación, no solo transforman la energía potencial del agua en electricidad, sino que también tienen la capacidad de acumular caudal mediante el bombeo (pág. 9). Estas instalaciones incrementan la energía potencial del agua mediante el uso de energía eléctrica en el accionamiento de turbinas y bombas, o turbinas reversibles, convirtiéndose así en un método eficiente de almacenamiento de energía (Mena & Mena, 2015, pág. 9).

A pesar de que este tipo de centrales no se considera una solución de alto rendimiento, se reconoce como rentable, ya que compensa las pérdidas de agua o combustible. Su diseño está concebido para satisfacer la demanda energética en horas pico y almacenar energía en horas valle, lo que contribuye a un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles (Mena & Mena, 2015, pág. 9). Además, este enfoque permite gestionar de manera más eficiente la energía, adaptándose a las variaciones de la demanda y optimizando la utilización de los recursos hídricos y energéticos.

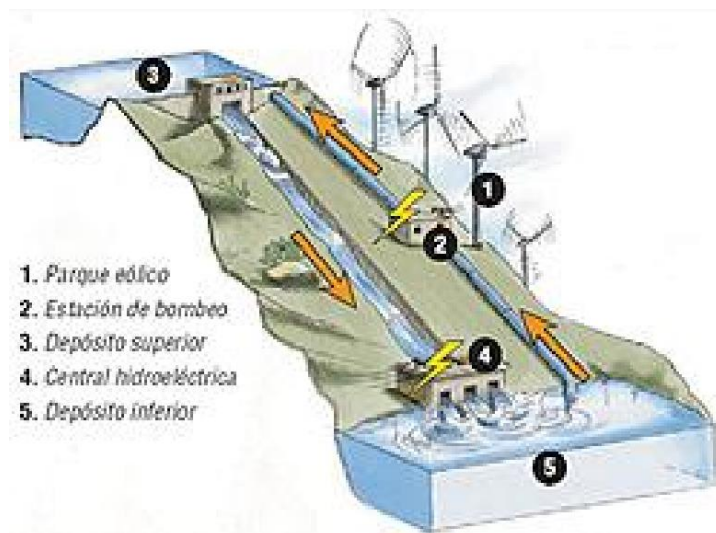


Figura 7: Central hidroeléctrica de bombeo

Fuente: (Mena & Mena, 2015, pág. 9)

2.2.5. Componentes de las centrales hidroeléctricas.

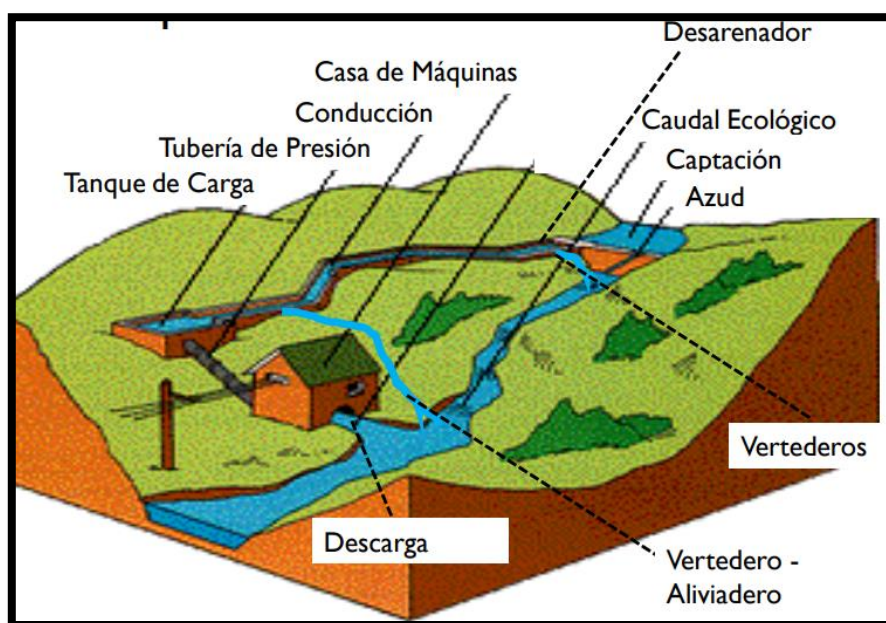


Figura 8. Componentes de una central hidroeléctrica

Fuente: (Pequeñas centrales hidroelectricas, 2015, pág. 14)

2.2.6. Principio de funcionamiento de una pequeña central hidroeléctrica.

"La conversión de energía hidráulica a mecánica a través de la acción de una turbina, y posterior transformación de esta energía mecánica en electricidad mediante un generador para su suministro a la demanda a través de líneas de interconexión, constituye un proceso esencial en la generación de energía hidroeléctrica" (Ortiz, 2011, pág. 24).

Según Ingfocol Ltda (2015), en el contexto de una central hidroeléctrica, "la transformación de la energía potencial en energía cinética se logra mediante la caída del agua. El agua en descenso atraviesa turbinas que se conectan a un generador, convirtiendo así la energía cinética en energía mecánica" (pág. 2).

Silva (2018) explica que "para comprender el principio de funcionamiento, es necesario contar con un flujo constante de agua, ya sea captado de un río o mediante la creación de una presa" (pág. 6). En la figura 10, el autor proporciona una representación visual que ayuda a entender este proceso. Además, para comprender la generación hidroeléctrica, es crucial reconocer la importancia de mantener un suministro continuo de agua, que puede lograrse mediante la captación de un río o la construcción de una presa (Silva, 2018, pág. 6).

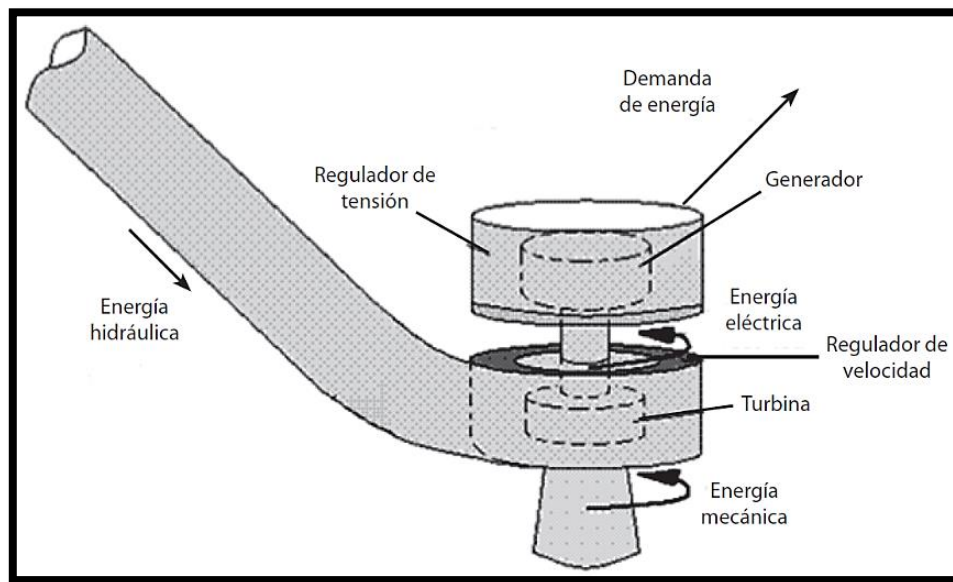


Figura 9. Proceso de conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica

Fuente: (Ortiz, 2011, pág. 24).

"Independientemente del tipo de Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) que se elija, es crucial conducir el agua a través de una tubería denominada 'Tubería de fuerza' o canal, la cual se dirige directamente hacia la entrada de la turbina" (Silva, 2018, págs. 6, 7).

"La energía contenida por el agua a esta velocidad y presión se conoce como energía hidráulica. Esta energía hidráulica se convierte en energía mecánica al mover el rodete de la turbina, que, a su vez, está conectado al eje del generador" (Silva, 2018, pág. 7).

"Al girar este eje, el generador genera energía eléctrica, logrando así la conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica" (Silva, 2018, pág. 7).

"La electricidad producida se transmite a través de las redes eléctricas hacia las instalaciones deseadas. Simultáneamente, el caudal de agua que impulsa los rodets de la turbina es devuelto al río mediante un canal de salida" (Silva, 2018, pág. 7).

"Con el objetivo de mantener la estabilidad en la generación de energía eléctrica, es esencial mantener dos parámetros eléctricos constantes: el voltaje y la frecuencia. Este equilibrio se logra a través de una adecuada instalación de componentes y la regulación de la velocidad, asegurando que operen en perfecta armonía con los demás elementos de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH)" (Silva, 2018, pág. 7). Además, es fundamental destacar que este enfoque contribuye significativamente a la eficiencia y sostenibilidad de la generación de energía hidroeléctrica, optimizando la producción continua de electricidad.

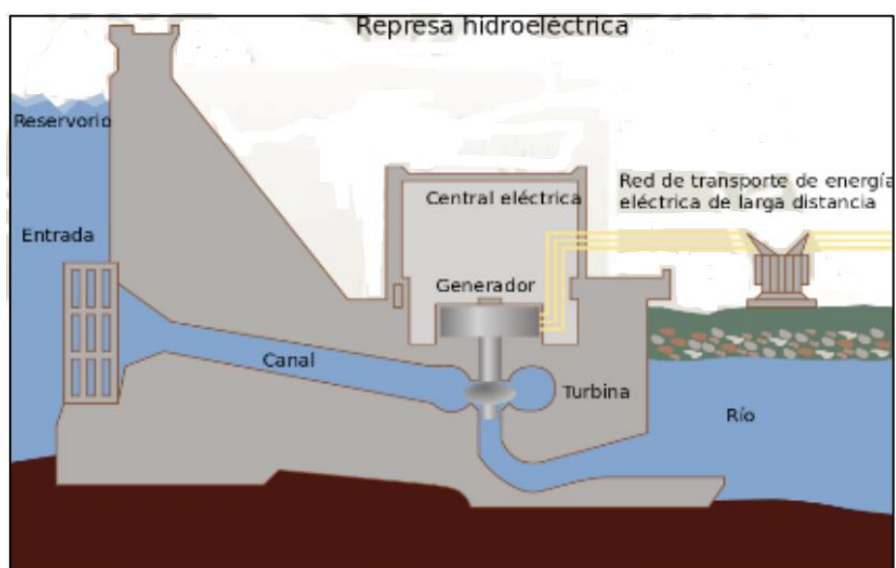


Figura 10: Esquema típico de una PCH

Fuente: (Silva, 2018, pág. 7)

2.2.7. Estudios para la construcción de una PCH

Según León (2014): “A continuación, se describen los estudios de prefactibilidad y factibilidad a realizar en la construcción de una PCH.” (pág. 42).

Estudio de la demanda:

En palabras de León (2014), el propósito de la investigación consiste en mejorar las condiciones de vida de la población en una región desprovista de servicio eléctrico (pág. 43).

Para alcanzar este objetivo, se lleva a cabo un censo de la población objetivo y se evalúa el consumo de energía proveniente de otras fuentes. A continuación, se estima el consumo energético de la población y se realiza una comparación con el recurso hidroenergético disponible para determinar si la región cuenta con una potencia superior a la demanda (León, 2014, pág. 43). Este enfoque integral busca garantizar la viabilidad y eficacia de las soluciones propuestas para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad.

Estudio socioeconómico

De acuerdo con la investigación realizada por León (2014), se examinan los recursos económicos, la estructura organizativa y el progreso comunitario con el propósito de establecer protocolos para el mantenimiento, la operación, la administración y la financiación del proyecto (pág. 43). Este enfoque integral se centra en la evaluación de la viabilidad tanto económica como organizativa, proporcionando una base sólida para el desarrollo y la implementación exitosa de iniciativas comunitarias.

Estudio hidrológico y pluviométrico

De acuerdo con León (2014), el caudal de diseño en proyectos de aprovechamiento hídrico se determina mediante el análisis de datos estadísticos de caudal recopilados a lo largo de varios años (pág. 43). Cuando la disponibilidad de datos hídricos es insuficiente para la selección del caudal, se recurre a la información pluviométrica, permitiendo una aproximación al caudal de la cuenca (León, 2014, pág. 43).

En este sentido, la elección del caudal de diseño se convierte en un proceso crucial, en el cual la combinación de datos estadísticos y pluviométricos contribuye a una evaluación más completa y precisa.

Estudio cartográfico y topográfico

De acuerdo con León (2014), la identificación de sitios propicios para el aprovechamiento de la energía potencial en forma de saltos de agua se lleva a cabo mediante el análisis de mapas cartográficos de la región en estudio (pág. 43). En situaciones en las que no se disponga de mapas cartográficos de la zona, se hace imperativo llevar a cabo un estudio topográfico para evaluar la caída aprovechable y determinar la capacidad del recurso hidroenergético disponible (León, 2014, pág. 43).

Este enfoque integral permite una selección precisa de ubicaciones adecuadas para la implementación de proyectos hidroeléctricos, optimizando así la explotación del potencial energético disponible.

Estudio geotécnico

Este estudio determina la ubicación de las obras civiles en función de la estabilidad del terreno y posibles fallas.

Estudio de impacto ambiental:

De acuerdo con León (2014), las obras civiles y el equipo en funcionamiento tienen un impacto ambiental en la región, y es imperativo que el estudio identifique las características de dicho impacto y proponga estrategias para mitigarlo (pág. 43).

En este contexto, el autor establece claramente que el proyecto será rechazado si el impacto ambiental es considerable, mientras que será respaldado si dicho impacto se mantiene en niveles reducidos (León, 2014, pág. 43). Este enfoque subraya la importancia de evaluar y abordar de manera efectiva los posibles impactos ambientales antes de aprobar cualquier proyecto de construcción o infraestructura.

Diseño y selección de equipo

León (2014) destaca que en el marco del diseño integral del proyecto se determina la ubicación definitiva de diversas instalaciones, como las obras de captación y conducción, el tanque de presión, el desarenador, la tubería, la casa de máquinas y el tendido de redes (pág. 43).

Asimismo, el autor subraya que este diseño se estructura en dos fases distintas: una centrada en la planificación de las obras civiles y la otra en la selección de los equipos necesarios (León, 2014, pág. 43). Además, León aborda de manera detallada las consideraciones y criterios empleados en ambas etapas, proporcionando una perspectiva comprehensiva sobre el desarrollo y la implementación del proyecto hidroeléctrico.

El diseño de obras civiles:

De acuerdo con León (2014), se aborda la conceptualización de los diseños de diversos componentes esenciales para la central hidroeléctrica, que incluyen la bocatoma, aliviadero, obra de conducción, desarenador, tanque de presión, anclajes para tubería de presión y casa de máquinas (pág. 44). Estos elementos constituyen elementos cruciales en el contexto del proyecto, contribuyendo de manera integral a su funcionamiento eficiente y sostenible.

La obra de León proporciona una visión detallada y especializada en relación con cada uno de estos aspectos, ofreciendo una valiosa referencia para la comprensión y desarrollo de proyectos similares en el ámbito de la generación de energía hidroeléctrica.

La selección de equipo

De acuerdo con las afirmaciones de León (2014), se aborda la comprensión integral de una central hidroeléctrica, que incluye aspectos como la tubería de presión o su diseño, compuertas o su diseño, turbina, válvula, generador, volante, regulador de tensión y frecuencia, protecciones, redes de transmisión y accesorios (pág. 44). Estos elementos representan componentes clave en el funcionamiento y diseño de una central hidroeléctrica, contribuyendo de manera significativa a la eficiencia y operación adecuada del sistema.

La consideración detallada de cada uno de estos elementos es esencial para asegurar un rendimiento óptimo y sostenible de la infraestructura hidroeléctrica. León proporciona una visión integral de los factores que intervienen en el desarrollo y funcionamiento de este tipo de instalaciones, ofreciendo así una perspectiva completa para aquellos interesados en el diseño y operación de centrales hidroeléctricas.

2.2.8. ESTUDIO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

2.2.8.1. MÉTODO MONENCO

Según Goyzueta (2017): “Se trata de una metodología formulada por la compañía consultora canadiense AGRA MONENCO (Montreal Engineering Company), válida para localidades de menos de 20 000 habitantes, la metodología comprende el análisis de los siguientes rubros.” (pág. 30).

PROYECCIÓN DEL NÚMERO DE HABITANTES

La proyección del número de habitantes se determina la siguiente ecuación:

$$P_n = P_o(1 + T_{cre})^n \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

P_n : Población al año “n”

P_o : Población al año inicial

T_{crec} : Tasa de crecimiento de la población, constante en el periodo de análisis

n : Año a proyectarse la población

PROYECCIÓN DEL NÚMERO DE VIVIENDAS

Según Goyzueta (2017): “El número de viviendas se determina en función a la siguiente relación”. (pág. 32).

$$N_{viv} = \frac{N_{hab}}{(Hab/Viv)} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

N_{viv} : Número de Viviendas

N_{hab} : Número de habitante de cada año (resultado de la proyección).

T_{crec} : Tasa de crecimiento de la población, constante en el periodo de análisis

Hab/Viv : Relación de habitantes por vivienda

CRECIMIENTO DEL CONSUMO UNITARIO

En relación con la determinación de la Tasa de Crecimiento del Consumo de Energía, Goyzueta (2017) destaca la importancia de obtener el consumo unitario final a través de información estadística de años anteriores de localidades con características socioeconómicas y regionales similares. El autor sugiere determinar la curva de tendencia del crecimiento mediante el cálculo del promedio del Consumo Unitario Doméstico (CUD) por año (pág. 32).

Para calcular el consumo unitario doméstico inicial (CUDi) y el consumo unitario doméstico final (CUDf), Goyzueta (2017) propone utilizar la ecuación potencial por tipo de localidad AXB. Esta ecuación se deriva del análisis del registro histórico de los consumos unitarios de energía, permitiendo una evaluación más precisa de la evolución del consumo a lo largo del tiempo (pág. 32).

Además, el autor enfatiza la necesidad de considerar la variabilidad en el consumo de energía en diferentes tipos de localidades, lo que contribuye a una evaluación más contextualizada y ajustada a las características específicas de cada área (Goyzueta E., 2017, pág. 32). Este enfoque proporciona un marco sólido para comprender y proyectar el crecimiento del consumo de energía, facilitando así la planificación eficiente y sostenible en el ámbito energético.



Figura 11: Ejemplo de Diagrama de la proyección del CUD por año

Fuente: (Goyzueta E. , 2017, pág. 32)

PROYECCIÓN DEL NÚMERO DE ABONADOS COMERCIALES.

De acuerdo con Goyzueta (2017), la estimación del número de suscriptores comerciales se realiza mediante la relación entre los suscriptores domésticos y comerciales recopilados en el terreno, siendo que los valores de suscriptores comerciales fluctúan según la ubicación y se presentan de la siguiente manera (pág. 33). En este contexto, el autor destaca la importancia de considerar las variaciones locales al proyectar el número de abonados comerciales.

$$\text{Nº de Abonados Comerciales} = \text{Nº de Abonados Domesticos} * \left(\frac{AC}{AD} \right) \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

AC/AD = Es variable y depende de la localidad de análisis (Datos de encuestas).

PROYECCIÓN DE CONSUMO COMERCIAL

De acuerdo con Goyzueta E. (2017, pág. 33), la evaluación se realiza a partir del consumo unitario del sector doméstico (CUC/CUD), considerando un porcentaje adicional al consumo unitario doméstico. Es importante destacar que estas cargas comerciales están principalmente

compuestas por pequeñas bodegas, como tiendas. Además, el autor examina detalladamente la relación entre el consumo unitario y las demandas comerciales para proporcionar una perspectiva integral sobre el tema.

PROYECCIÓN DEL CONSUMO POR CARGAS DE USO GENERAL

De acuerdo con Goyzueta (2017), para estimar el consumo asociado a cargas de uso general, que incluyen escuelas, colegios, iglesias, locales comunales, municipalidades, postas médicas, entre otros, se realiza una cuantificación que considera la cantidad de artefactos, las horas de utilización mensual y los consumos unitarios según el tipo de carga (pág. 33).

Además, Goyzueta (2017) señala que la proyección del consumo de energía de abonados de uso general se determina a partir del consumo neto doméstico, utilizando la siguiente ecuación (pág. 33).

$$CG = \%CG * CD \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

“ %CG es el porcentaje del consumo neto de las cargas de uso general con respecto al consumo neto de las cargas domésticas. Este porcentaje se utiliza para calcular el Consumo de uso general para todos los años ” (Goyzueta E. , 2017, pág. 33).

PROYECCIÓN DEL CONSUMO POR CARGAS DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Según Goyzueta (2017), la determinación del consumo de alumbrado público se lleva a cabo mediante la aplicación de la metodología descrita en la Resolución Ministerial N° 074-2009-MEM/DM (pág. 34).

Para calcular el consumo mensual de energía por alumbrado público, se considera el factor de alumbrado público y el número de usuarios de la localidad, utilizando la fórmula especificada por el autor en la misma página (pág. 34).

$$\text{CMAP} = \text{KALP} * \text{NU} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

CMAP: Consumo mensual de alumbrado público en kWh.

KALP: Factor de AP en kW.h/usuario-mes.

NU = Número de Usuarios de la localidad.

El Factor KALP es el correspondiente al sector típico 5: KALP = 6.3.

2.2.8.2. METODOLOGÍA EXPUESTA POR EL ING. RAMIRO ORTIZ

De acuerdo con Canchaya & Chero (2014), la metodología descrita implica el cálculo de la demanda potencial, abarcando incluso a la población que carece de acceso a la energía eléctrica (pág. 23). La aplicación de esta metodología se centra en la identificación de un usuario promedio, tanto a nivel doméstico como en pequeñas industrias y servicios públicos. A partir de este usuario promedio, se realiza el cálculo de la demanda potencial actual (Canchaya & Chero, 2014, pág. 24).

La obtención de datos sobre las potencias medias de los artefactos eléctricos e iluminación más comunes, junto con las horas de utilización, es crucial en este proceso. Estos datos se utilizan para crear tablas que servirán como base para la generación de diagramas de cargas específicos para cada tipo de población (Canchaya & Chero, 2014, pág. 24). Además, esta metodología

busca proporcionar una visión integral al considerar la demanda potencial en su totalidad, incluso en aquellos sectores que actualmente no tienen acceso a la electricidad.

Tabla 4

Evaluación de la demanda potencial por el método de Ramiro Ortiz.

UTILIDAD (Usuario representativo)	POTENCIA vatios	Nº	CS%	HORA DE USO								Energía Kwh	
				0- 5	5- 7	7- 11	11- 13	13- 17	17- 19	19- 21	21- 24	Día	Año
Iluminación													
Sala													
Comedor													
Alcoba 1													
Alcoba 2													
Baño													
Puerta de entrada													
Preparación y preservación de alimentos													
Refrigerador													
Cocina													
Recreación													
Televisor													
Radio													
Otros													
Máquina de coser													
Plancha													
TOTAL													
Industrial y comercial													
Mercados/Ferias													
Bodegas													
Aserradero													
TOTAL													
Servicios públicos													
Centros educativos													
Centros de salud													
Puestos de salud													
Municipalidad													
Comisaria													
Hoteles													
Puestos de comunicación													
Iglesia													
Agua potable													
Alumbrado público													
Junta campesina													
TOTAL													

Fuente: (Canchaya & Chero, 2014, págs. 24, 25)

2.2.8.3. PRONÓSTICO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA MEDIANTE EL MÉTODO DESARROLLADO POR EL ING.TSUGUO NOZAKI.

De acuerdo con la afirmación de Julca (2019), se sigue un enfoque que se fundamenta en la premisa de asignar una demanda específica de potencia en función de la población actual, partiendo de la suposición de que la potencia instalada per cápita oscile entre 30 y 60 W por habitante (pág. 6). Esta metodología se presenta como una estrategia para calcular las necesidades energéticas de manera proporcionada a la población, garantizando así una asignación adecuada de la potencia requerida. Además, este enfoque permite una planificación más precisa y eficiente en términos de desarrollo energético sostenible.

Tabla 5

Demanda actual para distintas poblaciones.

Nº de habitantes	Demanda de Potencia (kW)
500 - 1000	15 - 35
1000 - 2000	35 - 80
2000 - 4000	80 - 180
4000 - 10000	180 - 500
10000 - 20000	500 - 1200

Fuente: (Julca, 2019, pág. 6)

Según Julca (2019), se procede a calcular la demanda actual ingresando el número de habitantes en la tabla 4. Posteriormente, se ajusta este valor si hay requerimientos especiales, como los provenientes de industrias o minas (pág. 8).

Además, el autor indica que se realiza el cálculo de la demanda futura para un período de 5 a 10 años, aplicando tasas de crecimiento anual que oscilan entre el 4% y el 10%, dependiendo de los niveles de ingresos de los habitantes y de la actividad industrial presente (Julca, 2019, pág. 8).

Según Julca (2019): “El Ing. Nozaki propone utilizar la fórmula de interés compuesto.” (pág. 8).

$$DF = DA * (1 + i)^n \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

DF: Demanda futura (k W)

DA: Demanda actual (kW)

i: Tasa anual de incremento de la demanda.

n: N° de años considerados.

2.2.9. EVALUACIÓN DEL RECURSO HIDROENEGÉTICO

Una vez determinada la demanda de energía eléctrica, se procede a determinar la oferta disponible consistente en estimar el potencial de energía en nuestra futura instalación. Para lo mismo lo recomendado es que nuestra instalación esté lo más próxima posible a nuestro centro de carga. La cantidad de energía a generar dependerá de dos factores a considerar: la caída (o salto) y el caudal disponible (de diseño).

En lo que respecta al salto, este depende fundamentalmente de la topografía del terreno y por otro lado, el caudal está en función del río o arroyo de donde se obtiene el recurso hídrico para la futura central hidroeléctrica.

A continuación, se presentarán algunos métodos sencillos para medir el salto y el caudal en ríos o canales.

2.2.9.1. MEDICIÓN DEL SALTO

Uno de los métodos empleados para medir la altura disponible, de manera preliminar, es mediante el uso de mapas con curvas de nivel. Este método es utilizado mayormente en estudios de prefactibilidad de microcentrales hidroeléctricas (MCH).

En el caso de estudios de factibilidad, se hace necesario efectuar mediciones de campo, que nos garantice una mejor precisión. Generalmente se necesitan de precisiones de al menos tres por ciento para la caída.

“Se recomienda realizar tres mediciones y comparar los resultados en el sitio, con el fin de poder corregirlos o bien tomar nuevas medidas en el caso que fuera necesario, por ejemplo, si las tres medidas tomadas son muy distintas” (CABAL, 2014, pág. 17).

En la tabla 6, se citan varios métodos para medir el salto o caída, incluyendo algunas indicaciones sobre la precisión y otros para cada método.

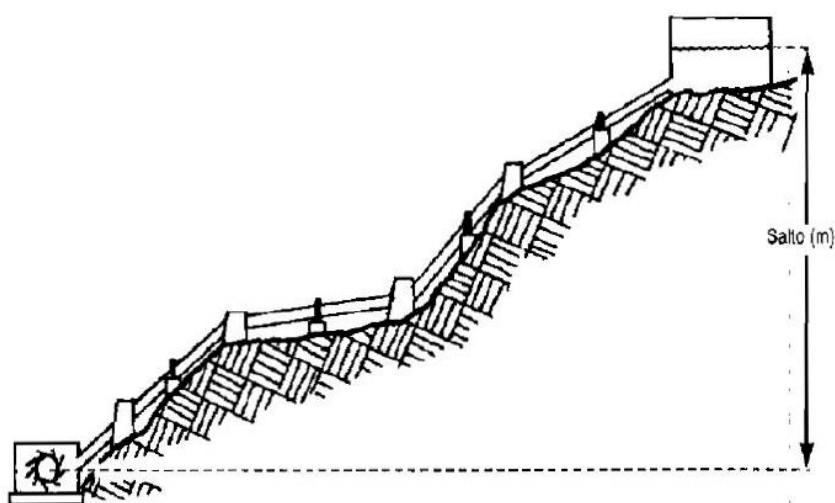


Figura 12: El concepto de salto o caída

Fuente: (CABAL, 2014, pág. 17)

Tabla 6
Comparación de técnicas

Método	Ventajas y limitaciones	Precisión	Observación
Manguera y Nivelación	Agotador para caídas altas. Rápido para pequeñas caídas.	Aprox. 5%	Es recomendable hacerlo entre dos personas.
Manguera y Manómetro	Rápido, seguro. Da la posibilidad de medir la longitud de la tubería de presión a la vez.	< 5%	Calibrar instrumentos
	Peso: ligero.		
	Costo: bajo		
Nivel de carpintero y tablas	Inapropiado para pendientes suaves y largas.	Aprox. 5% en pendientes pronunciadas. Poca precisión en pendientes suaves	Usar sólo para caídas muy pequeñas cuando no se dispone de otro método
	Lento	(1:10)	
		(10-20%)	
Altímetro	Usado en caídas altas y medianas (< 40 m.).	Probabilidad de grandes errores (30%).	Necesita calibración de instrumentos y destreza.
	Rápido		Tomar tres o más medidas
Eclímetro	Rápido	Buena (5%).	Recomendable en terrenos despejados. Usado en todos los lugares especialmente donde los otros métodos son muy lentos
	Peso: liviano		
	Costo: moderado		
Nivel de Ingeniero	Rápido	Muy buena	No es bueno en lugares con demasiados árboles
	Costo: alto		
Mapa	Sólo para caídas altas. No necesita viajar al lugar	Aceptable para prefactibilidad	Se necesita destreza para leer planos
	Peso: liviano		
	Costo: bajo		

Fuente (CABAL, 2014, pág. 18)

2.2.9.2. MÉTODO DEL ECLÍMETRO Y WINCHA

Para emplear este procedimiento, se requiere la colaboración de dos individuos, quienes asumirán roles específicos: el primero utilizará el eclímetro, mientras que el segundo brindará apoyo en la medición. Se aconseja que la estatura de ambos sea lo más parecida posible para evitar posibles errores atribuibles a diferencias de tamaño. En la figura siguiente se resume el proceso de medición:

$$H_1 = L_1 * \sin \alpha \dots \dots \dots \text{Ecuación 7}$$

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 \dots \dots \dots \text{Ecuación 8}$$

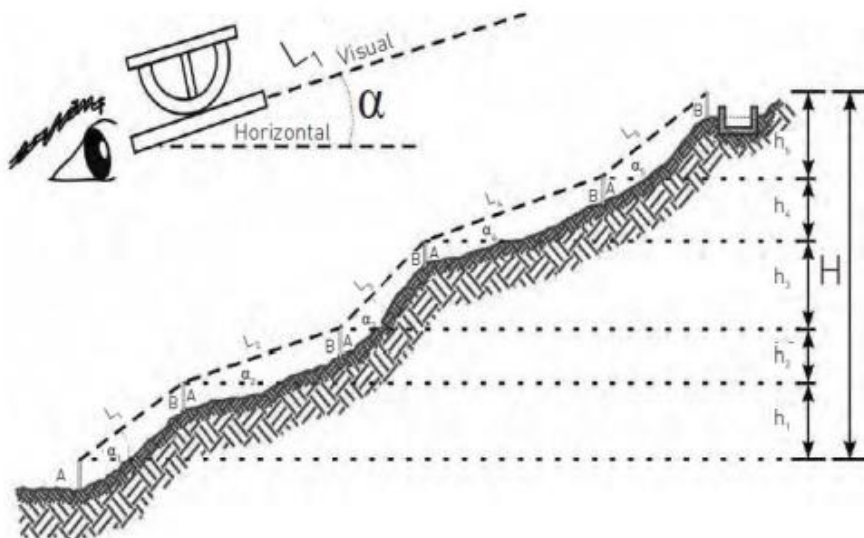


Figura 13: Método del eclímetro y wincha

Fuente: (Inoñan & Vargas, 2010, pág. 52)

2.2.9.3. MEDICIÓN DEL CAUDAL

Según CABAL (2014): “En vista de que el caudal de los ríos varía a lo largo del año, realizar solo una medida del caudal resulta un registro aislado cuya utilidad es relativamente baja” (pág. 26).

De acuerdo con CABAL (2014), en ocasiones puede no existir información disponible para llevar a cabo un estudio de hidrología, lo que implica la necesidad de recopilar datos mediante mediciones instantáneas del caudal. El autor sugiere que, idealmente, estas mediciones se realicen de manera diaria, aunque también se pueden efectuar de forma semanal o mensual (pág. 26).

Entre los métodos más comúnmente empleados para la medición de caudal se encuentran: el método de la solución de la sal, el método del recipiente, el método del área y velocidad, el método de la sección de control y regilla graduada, así como el método del vertedero de pared delgada.

Es preciso estudiar las características de estos métodos para poder utilizarlos correctamente y aprovechar las ventajas que ofrece cada caso en particular.

DISEÑO DE REJILLAS

Estas se usan para evitar la entrada de materiales flotantes en la tubería, normalmente se instalan entre la tubería de presión y la cámara de carga.

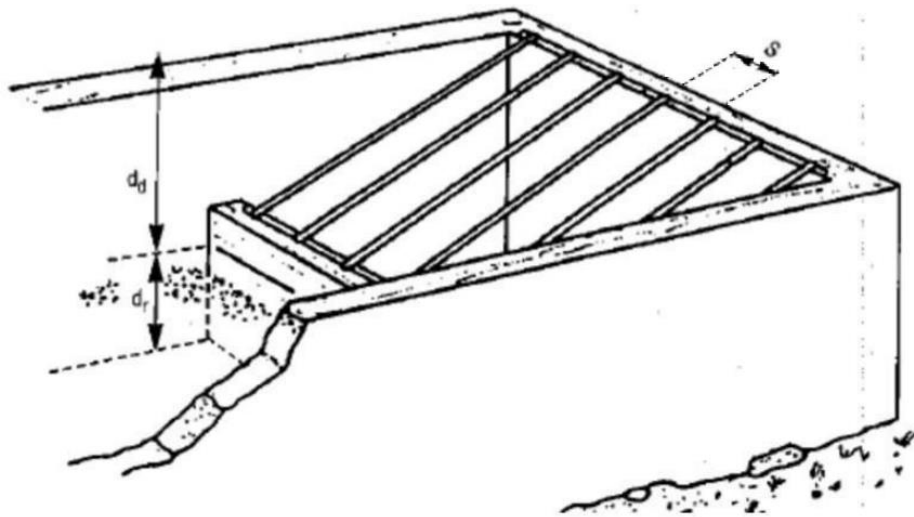


Figura 14: Rejilla de la cámara de presión

Fuente: (Arechua, 2018, pág. 8)

“La pérdida de carga que se produce en las rejillas se calcula generalmente con la fórmula de Kirschmer” (Olade, 1985, pág. 190)

$$hf = B \cdot \left(\frac{t}{s}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \text{sen}A$$

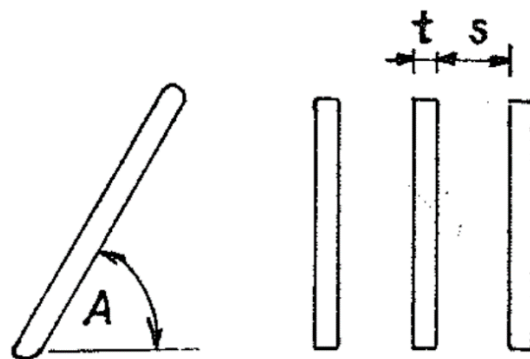


Figura 15: Detalle de la Rejilla

Fuente: (Olade, 1985, pág. 190)

Donde:

“ t = grueso del barrote, s = separación entre barros, depende del tipo de turbina, V = velocidad de aproximación (este valor se torna generalmente entre 0.5 y 1.2 m/s aunque en obras grandes se admite hasta 2.5 m/s)” (Olade, 1985, pág. 190).

“ B = coeficiente que varía según la forma de la sección transversal del barrote. Para pletinas comunes de sección rectangular, B es 2.42. Si se redondean las esquinas de la parte frontal de las pletinas este valor baja a 1.83” (Olade, 1985, pág. 190).

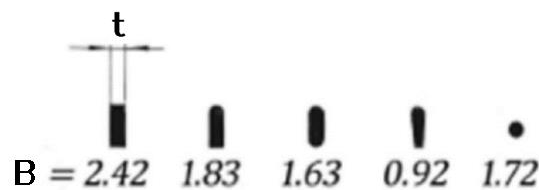


Figura 16: Valores del coeficiente

Fuente: (Arechua, 2018, pág. 9)

“ A = inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal, para facilitar la limpieza, los valores son: $A = 50 - 55^\circ$ para limpieza a mano, $A = 70 - 76^\circ$ para limpieza mecánica” (Olade, 1985, pág. 190).

“Esta fórmula es válida si la rejilla está colocada perpendicularmente a la dirección del flujo” (Olade, 1985, pág. 190).

2.2.9.4. CAVITACION

Este fenómeno se manifiesta cuando la presión del fluido en una región específica del flujo desciende por debajo del valor de la presión de vapor del fluido a una temperatura determinada. Ocurre tanto en estructuras estáticas, como tuberías y venturímetros, como en máquinas hidráulicas, ya sea en la entrada del rodete de una bomba o en la salida del rodete de una turbina.

Este proceso puede tener implicaciones significativas en la operación y eficiencia de sistemas hidráulicos.



Figura 17 Álabes de turbinas de reacción afectados por la cavitación.

Aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{C_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = \frac{C_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + H_{2-1}$$

Despejando la presión a la salida del rodete y considerando valores absolutos de presión se tiene:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - Z_2 - \frac{C_2^2}{2g} + H_{2-1}$$

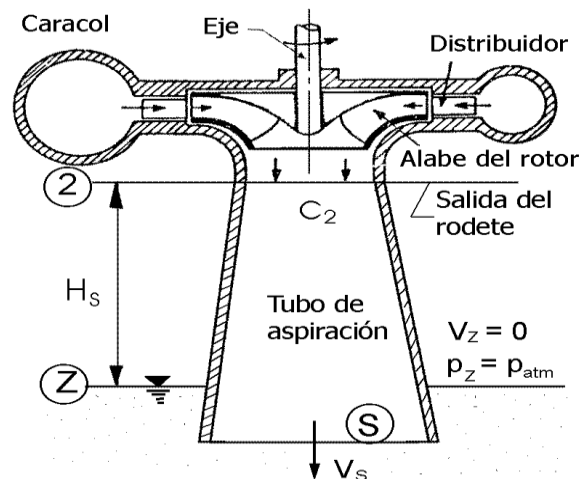


Figura 18 Altura del tubo difusor, H_s , para evitar la cavitación.

Teóricamente, la presión a la salida del rodete P_2 puede bajar hasta $P_2 = 0$ (absoluta); sin embargo, no es conveniente que baje demasiado como para igualar o ser menor que el valor de la presión de vapor del líquido (p_v), pues de lo contrario se produciría la ebullición del

líquido, lo cual daría inicio a la cavitación.

Analizando la ecuación anterior, el peligro de cavitación será mayor si el valor de p_2 es menor y esto ocurre cuando:

- a) La p_{atm} es menor, dependiendo del lugar.
- b) La velocidad a la salida del rodete C_2 sea mayor.
- c) La altura Z_2 sea mayor.
- d) Las pérdidas de energía H_{2-z} sean menores.

Para el control de la cavitación se diseña la máquina controlando los valores de C_2 , Z_2 , H_{2-z} , etc.

Y si se permite que en algún caso haya cavitación entonces se usan materiales resistentes a la cavitación; por ejemplo acero inoxidable (Cr 18%, Ni 8%).

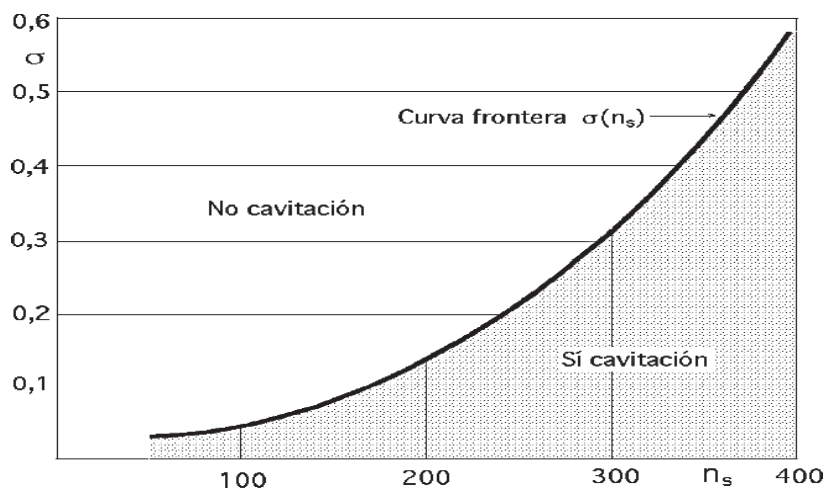


Figura 19 Coeficiente de Thoma

Fuente: Diez (2009)

2.2.9.5. TUBERÍA DE PRESIÓN

La tubería de presión es de acero A-516 grado 70 y se ubica entre la cámara de válvulas y la casa de máquinas.

La determinación del diámetro económico se ha hecho en base a un análisis técnico el cual busca minimizar los costos anuales incurridos (amortización) en la compra del acero para la

tubería y el costo anual de las pérdidas de energía. El análisis del diámetro óptimo de la tubería de presión se puede observar en la tabla 7

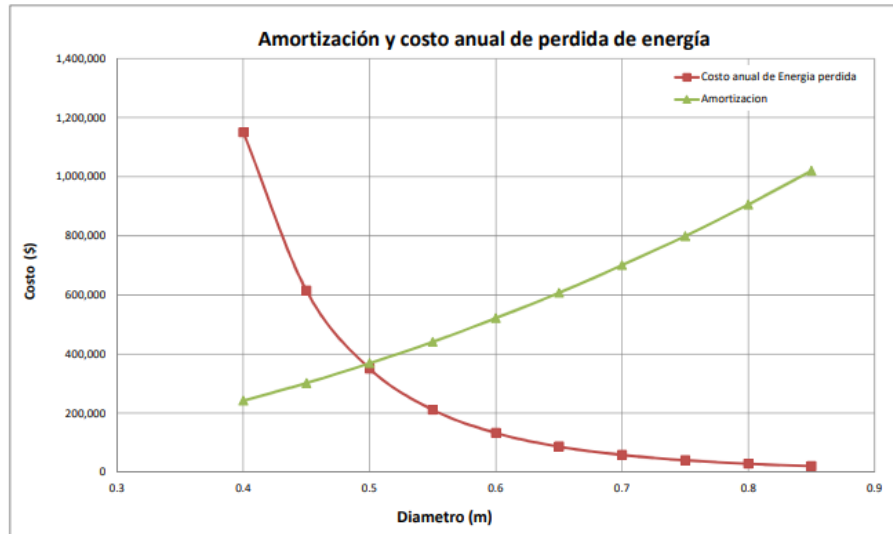


Figura 20 Amortización (anualidad) y costo de la energía perdida según del

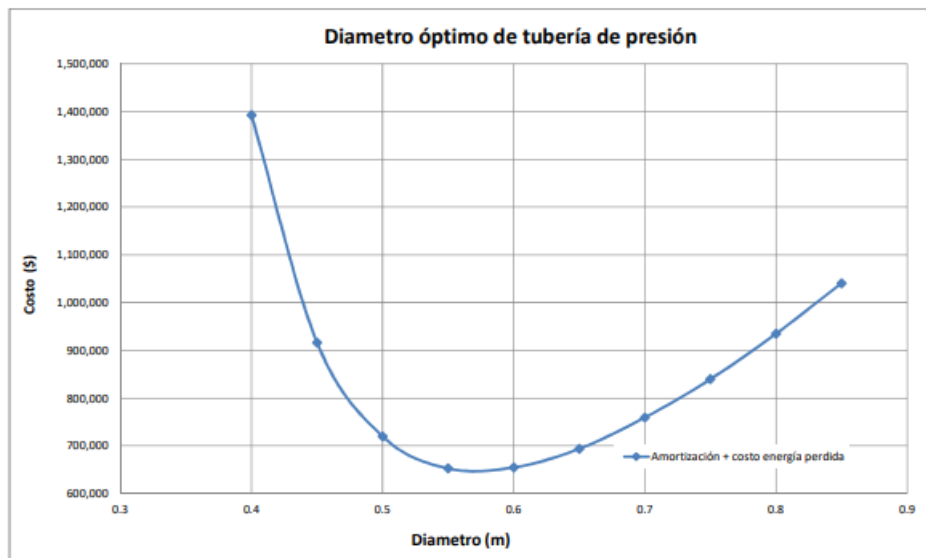


Figura 21 Valor total del costo por amortización y el costo de la energía perdida según el diámetro de tubería

Según Arechua (2018), las tuberías de presión son conductos forzados debido a las altas presiones en toda su superficie, ya que están completamente llenas de agua, y su desplazamiento se produce por la acción de la presión en lugar de depender de la pendiente (pág. 9).

La función principal de estas tuberías es dirigir el agua directamente desde el punto de alimentación hasta las turbinas situadas en la central hidroeléctrica (Arechua, 2018, pág. 9).

Además, Arechua (2018) destaca que las tuberías forzadas pueden originarse en diversas fuentes, como una toma de agua, una galería, un pozo de presión o un colector (pág. 9).

Asimismo, el autor enfatiza la preferencia por que la tubería de presión sea recta, aunque reconoce que en ocasiones esto puede resultar difícil debido a las condiciones del terreno (Arechua, 2018, pág. 9).

Esta circunstancia impone la necesidad de ajustarse al perfil topográfico mediante el respaldo de estructuras de concreto que ayuden a sostenerla y a modificar la pendiente, como se ilustra en la Figura 17 (Arechua, 2018, pág. 9).

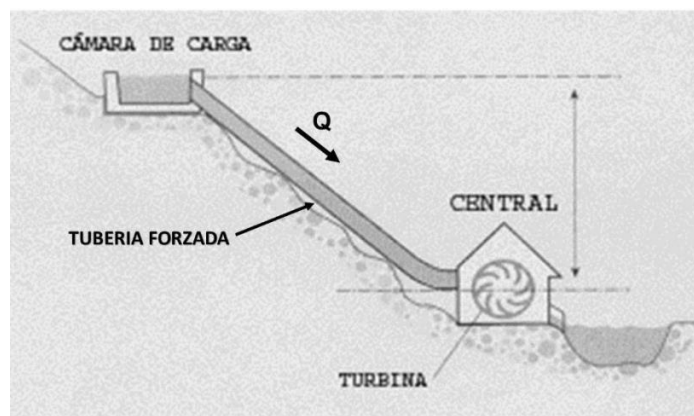


Figura 22: Esquema de una tubería forzada en una Central Hidroeléctrica

Fuente: (Arechua, 2018, pág. 10)

2.2.9.3.2. CRITERIOS TÉCNICOS PARA SELECCIONAR UNA TUBERIA DE PRESIÓN

De acuerdo con Arechua (2018), el traslado de un caudal específico de agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas, que constituye el objetivo de las tuberías forzadas, puede parecer una tarea sencilla; sin embargo, el diseño de estas tuberías no es una tarea fácil (pág. 10).

Las tuberías forzadas, según lo indicado por Arechua (2018, pág. 10), pueden ser instaladas tanto sobre como bajo el terreno, dependiendo de la naturaleza del suelo, el material utilizado en la tubería, la temperatura ambiente y los requisitos medioambientales del entorno.

En relación con este aspecto, el autor destaca que, para lograr dicho propósito, se deben considerar criterios específicos (Arechua, 2018, pág. 10). Esto implica evaluar diversas clases de materiales disponibles, tipos de uniones, comparar formas y costos de mantenimiento, así como anotar los diámetros de las tuberías y los espesores de pared disponibles.

La selección del diámetro, como subraya Arechua (2018, pág. 10), se realiza con el objetivo de minimizar los costos y reducir las pérdidas de energía. En cuanto al espesor, este se determina teniendo en cuenta los esfuerzos generados por el golpe de ariete, el peso del agua y de la propia tubería (Arechua, 2018, pág. 10).

El material a emplear, según Arechua (2018, pág. 10), debe contemplar factores como la presión de diseño, los tipos de unión, el diámetro y las pérdidas por fricción, así como el peso y la dificultad de instalación.

Además, se deben considerar aspectos como la accesibilidad al sitio, las condiciones del terreno y del suelo, las condiciones climáticas, la disponibilidad y el costo relativo (Arechua, 2018, págs. 10, 11).

2.2.9.3.4. MATERIALES PARA TUBERIAS DE PRESIÓN

Acero comercial

El material más frecuentemente empleado en la construcción de tuberías de presión, que pueden ser manufacturadas mediante maquinaria convencional, abarca diversos diámetros y espesores.

Según Arechua (2018), estas tuberías exhiben un factor de pérdida por fricción regular y, si están revestidas con una capa de pintura u otro tipo de protección, tienen la capacidad de perdurar hasta por 20 años (pág. 11).

Asimismo, destacan por su resistencia a impactos y su peso relativamente considerable. En caso necesario, pueden fabricarse en longitudes adecuadas para facilitar su transporte e instalación (Arechua, 2018, pág. 11).

La versatilidad y durabilidad de estos materiales los convierten en una opción destacada para diversas aplicaciones en el ámbito de las tuberías de presión.



Figura 23: Tuberías de acero sin costura

Fuente: (Arechua, 2018, pág. 11)

Policloruro de Vinilo (PVC)

De acuerdo con Arechua (2018), la tubería PVC emerge como una opción frecuente en microcentrales hidroeléctricas debido a su relativa economía y versatilidad. Se fabrica en diámetros que abarcan hasta aproximadamente 400 mm, siendo idónea para soportar presiones elevadas, situándose entre 100 y 150 metros de columna de agua (pág. 11).

La variación en el espesor de la pared de la tubería PVC posibilita la obtención de distintos niveles de presión, destacándose por su ligereza y facilidad de transporte. Además, presenta un bajo factor de pérdidas por fricción y exhibe resistencia a la corrosión (Arechua, 2018, págs. 11, 12).

No obstante, Arechua (2018) advierte que, a pesar de sus cualidades, la tubería PVC muestra cierta fragilidad y es susceptible a daños por impactos, especialmente ante condiciones de bajas temperaturas (pág. 12).

Una desventaja crucial resaltada por el autor es la susceptibilidad al deterioro cuando se expone a la luz ultravioleta. Por este motivo, Arechua (2018) recomienda resguardarla de la exposición directa al sol mediante métodos como enterrarla, cubrirla con vegetación, envolverla o aplicarle una capa de pintura (pág. 12).

Hierro dúctil centrifugado

De acuerdo con Arechua (2018), el hierro dúctil ha sustituido en gran medida al hierro fundido, aunque este último aún se emplea en sistemas antiguos. En tales casos, es común que las tuberías de hierro fundido estén revestidas internamente con cemento, proporcionándoles protección contra la corrosión y minimizando las pérdidas por fricción (pág. 12). Esta adaptación permite optimizar el rendimiento y la durabilidad de los sistemas de tuberías en el ámbito de la ingeniería civil y las infraestructuras hidráulicas. La elección entre hierro dúctil y hierro fundido dependerá de diversos factores, incluyendo la antigüedad del sistema y las características específicas de la aplicación.

Asbesto-cemento

De acuerdo con Arechua (2018), las tuberías fabricadas con cemento reforzado con fibra de asbesto son consideradas frágiles y apropiadas para operar a presiones moderadas. Estas tuberías, en comparación con las de PVC, son más pesadas y presentan una pérdida significativa por fricción (pág. 12). En este contexto, es importante considerar las implicaciones de estos atributos al seleccionar el tipo de tubería adecuada para una aplicación específica, teniendo en cuenta tanto la resistencia como la eficiencia en el flujo del sistema.

Resina de Poliéster con fibra de vidrio reforzado

De acuerdo con Arechua (2018), las tuberías fabricadas con resina reforzada con fibra de vidrio dispuesta en forma de espiral se caracterizan por ser livianas y contar con un coeficiente de fricción reducido (pág. 12).

No obstante, su fragilidad implica la necesidad de una instalación cuidadosa. Estas tuberías pueden ser empleadas en condiciones de alta presión, siempre y cuando se encuentren enterradas y se rellene el espacio circundante con material fino seleccionado.

A pesar de sus propiedades, aún no han obtenido una aceptación significativa en el ámbito (Arechua, 2018, pág. 12).

Polietileno de alta densidad

De acuerdo con Arechua (2018), las tuberías fabricadas con este material se perfilan como una alternativa viable a las de PVC, destacando su notable utilidad en pequeños sistemas debido a su sencilla instalación (pág. 12).

Además, estas tuberías presentan un coeficiente de pérdidas por fricción favorable, son resistentes a la corrosión y no experimentan deterioro cuando se exponen a la luz solar (Arechua, 2018, pág. 12).

Esta combinación de características hace que este tipo de tuberías sea una elección destacada en diversas aplicaciones, ofreciendo beneficios tanto en términos de rendimiento como de durabilidad.

2.2.9.3.5. CASA DE MÁQUINAS

Según Llango & Gallegos (2012), la casa de máquinas, definida como la estructura que alberga todo el equipo electromecánico, desempeña un papel fundamental en la conversión de la energía cinética del agua en energía mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica (pág. 21). Estos autores también destacan la importancia de la normalización del diseño de la casa de máquinas en relación con la posición del eje del grupo turbina generador (pág. 21).

En cuanto a la orientación del eje, Llango & Gallegos (2012) señalan que este puede ser horizontal o vertical, destacando que en proyectos para pequeñas centrales hidroeléctricas, el grupo de eje horizontal es preferido debido a su facilidad de montaje y mantenimiento, convirtiéndolo en la opción más utilizada (pág. 21).

Además, los autores detallan los elementos esenciales presentes en la casa de máquinas para llevar a cabo la transformación de la energía cinética en energía eléctrica. Estos incluyen un empalme entre la tubería de presión y la entrada a la válvula, la válvula que regula el flujo del caudal, la turbina que convierte la energía cinética en mecánica con un regulador de velocidad, y el generador responsable de la conversión de energía mecánica en energía eléctrica (pág. 21).

Asimismo, Llango & Gallegos (2012) destacan la importancia del canal de salida de las aguas turbinadas, describiendo las opciones de salida al río a través de un tubo difusor o una galería conectada a un canal (pág. 21). Este enfoque detallado proporciona una comprensión completa de los componentes y funciones clave dentro del contexto de la casa de máquinas en proyectos hidroeléctricos.

La casa de máquinas es el lugar donde se alojan los equipos de generación y su sistema de control. La casa de máquinas se emplazará en superficie y recibirá el caudal proveniente de la tubería de presión, se ubica sobre la margen izquierda del río Najen en la cota 272 msnm y en las coordenadas 819053Este y 9510209Norte. La casa de máquinas contendrá una turbina Pelton, de eje horizontal, con dos inyectores. El eje de la turbina estará ubicado en la cota 272 m.s.n.m. Contará con un puente grúa, que corre a lo largo de la casa de máquinas, para el servicio de montaje y mantenimiento de los grupos.

Las dimensiones de la casa de máquinas de la C.H. Najen se muestran en la Tabla 7. Las Figuras 3.15 muestran la vista en planta de la casa de máquinas de la CH. Najen. Para el emplazamiento de las estructuras que conforman la casa de máquinas de la central hidroeléctrica y obras conexas, el Proyecto contempla realizar en la parte inferior de la ladera la nivelación del terreno mediante corte para alcanzar los niveles de piso de los generadores.

Tabla 7 Dimensiones de la casa de máquinas

Elemento	Cantidad (m)
Largo	32
Ancho	10
Alto	3

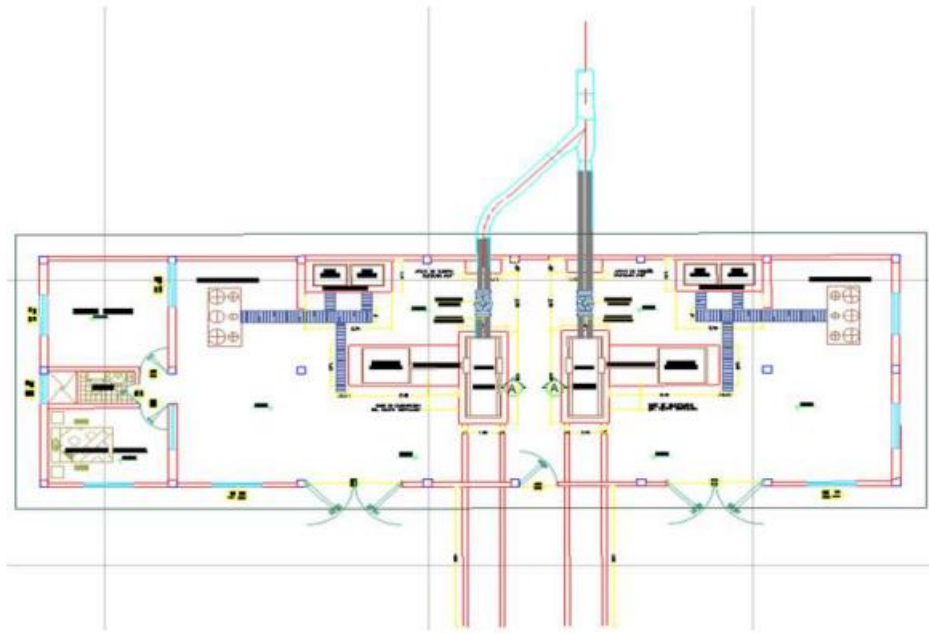


Figura 24 Vista en planta de la casa de máquinas

2.2.9.3.6. UBICACIÓN DE CASA DE MAQUINAS

Para la ubicación de la casa de máquinas se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

“Debe colocarse cercana al afluente, tener en cuenta que en el canal de desagüe no se acumulen sedimentos que disminuyan la sección., zonas con terrenos estables, y fuera del alcance de riadas” (Llango & Gallegos, 2012, págs. 21, 22).

“Debe colocarse en un lugar con buena cimentación, prever una posible ampliación, facilidad de acceso, facilidad de adquirir terrenos” (Llango & Gallegos, 2012, pág. 22).

“Un factor principal en la ubicación de la casa de máquinas es que la disposición de los equipos armonice con el panorama exterior” (Llango & Gallegos, 2012, pág. 22).

2.2.9.3.7. TURBINAS HIDRÁULICAS

Según Caisachana & Molina (2012): “Las turbinas hidráulicas son máquinas que tienen la capacidad de transformar la energía potencial y/o cinética de un fluido líquido en energía mecánica” (pág. 27).

“En el caso de las centrales hidroeléctricas son el corazón del sistema pues aprovechan la energía almacenada en una cierta cantidad de agua que fluye en dirección del cauce en sentido de la gravedad” (Caisachana & Molina, 2012, pág. 27).

Clasificación de las turbinas

Según Caisachana & Molina (2012): “Las turbinas hidráulicas se clasifican en: Turbinas de acción o de impulso y Turbinas de reacción. Clasificación que obedece a la forma como el agua ejerce la fuerza sobre la turbina y como causa su rotación” (pág. 28).

Turbinas de acción o de impulso

Según Caisachana & Molina (2012): “La turbina de impulso gira cuando un chorro de agua proveniente de una tobera (boquilla) golpea uno de sus cangilones a velocidad muy alta” (pág. 28).

“Una gran proporción de la energía del agua está en forma de energía cinética debido a su velocidad. El chorro no posee ninguna energía de presión, dado que el agua no puede confinarse después de salir de la tobera” (Caisachana & Molina, 2012, pág. 28).

Turbinas de reacción

Según Caisachana & Molina (2012): “La turbina de reacción actúa por el agua que se mueve a una velocidad relativamente baja, pero bajo presión” (pág. 28).

“El agua llega al cuerpo de la turbina (rodete) a través de un sistema denominado de distribución que es totalmente cerrado, tal que la presión debida a la cabeza de la planta se mantiene sobre el rodete” (Caisachana & Molina, 2012, pág. 28).

Tipos de turbinas hidráulicas

Según Caisachana & Molina (2012): “Existen tres principales tipos de turbinas hidráulicas de acción” (pág. 28).

Turbina Pelton

Según Caisachana & Molina (2012): “Es una turbina de acción de flujo tangencial, formada por una o más toberas y un rodete provisto por un determinado número de cucharas” (pág. 28).

“Está diseñada para aprovechar grandes saltos, pero con caudales pequeños y velocidades bajas, pudiéndose obtener eficiencias del orden del 85%” (Caisachana & Molina, 2012, pág. 28).

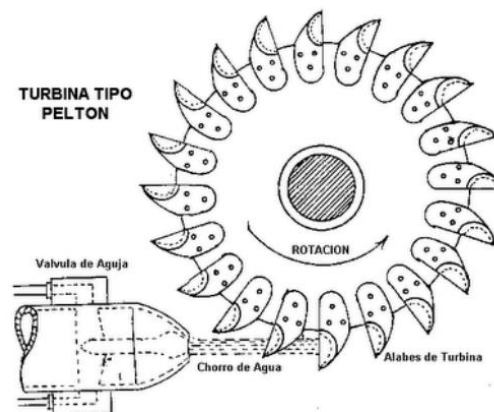


Figura 25: Esquema de la turbina Pelton

Fuente: (Caisachana & Molina, 2012, pág. 29)

Turbina Francis

Según Caisachana & Molina (2012): “Es una turbina de flujo mixto y de reacción, formada por una caja en espiral, unos álabes directores y el rodete que puede tener muchas formas en función del número de vueltas” (pág. 29).

“Está diseñada para velocidades medias de operación, con saltos y caudales medianos, su eficiencia está comprendida entre 83% y 90%” (Caisachana & Molina, 2012, pág. 29).

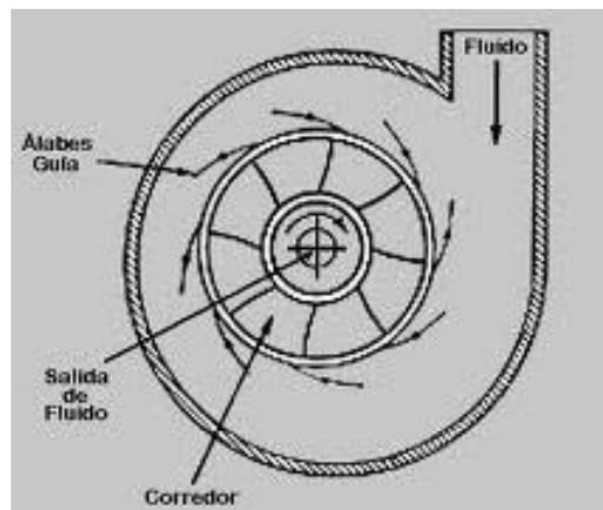


Figura 26: Esquema de la turbina Francis

Fuente: (Caisachana & Molina, 2012, pág. 29)

La turbina Francis se encuentra en la categoría de turbinas de flujo radial y flujo mixto o semiaxial. Las turbinas Francis de flujo radial se construyen para un amplio rango de alturas de caída que alcanzan hasta valores del orden de 700 m.

La turbina Francis es una turbina de reacción, lo que significa que es capaz de aprovechar la energía estática del agua. El grado de reacción en estas turbinas es siempre inferior a la unidad, por lo que es capaz de aprovechar la energía cinética del agua. En la siguiente imagen se presenta la turbina Francis y sus componentes

La forma del rodete de una turbina Francis varía según el valor de velocidad específica, si la velocidad específica es menor, el rodete tendrá mayor acción radial y

si la velocidad específica es mayor, la acción radial en el rodete disminuye y se transforma en un rodete de flujo mixto o semiaxial. Para comprender la variación en la forma del rodete con los parámetros principales de una central hidroeléctrica se enuncia la siguiente relación: a mayores cargas, mayor acción radial y a mayores caudales mayor acción axial.

En un aprovechamiento hidroeléctrico el órgano fundamental es la turbina ya que es la máquina que transforma la energía hidráulica en energía mecánica de rotación que a su vez es transformada por medio de un generador sincrónico a energía eléctrica.

El rotor de la turbina es el elemento básico de esta máquina ya que en éste se realiza la transferencia de energía. En las turbinas de reacción se dispone de un ducto de alimentador en forma de caracol alrededor de la máquina, el cual recibe el agua de la tubería de presión y posteriormente pasa al rodete móvil por medio del distribuidor. El distribuidor regula el gasto de acuerdo con la potencia exigida por la turbina y además impone al fluido el giro necesario para su acción sobre los alabes del rodete móvil. En la descarga del fluido de la máquina se instala un ducto denominado tubo de desfogue que permite una ganancia en el gradiente de presión entre la entrada y la salida del fluido, lo que mejora el rendimiento de la máquina.

En la turbina Francis puramente radial el intercambio energético de fluido a rotor se produce mientras el agua pasa a través de los alabes todo el tiempo en dirección radial y de afuera hacia adentro, con un aprovechamiento máximo de la acción centrípeta, para lo cual se procura siempre dar al agua un recorrido radial relativamente largo.

La utilización de la turbina Francis radial se justifica en saltos de agua con cargas relativamente grandes y caudales bajos.

En la turbina Francis mixta, el agua recorre los álabes en dirección radial y de afuera hacia adentro sólo en un aparte de los mismos (la parte superior), terminando el recorrido del agua por entre los álabes en dirección axial (vertical hacia abajo en las

más de eje vertical), en cuya fase final trabaja como turbina axial. La ponderación de la acción radial y de la axial puede establecerse en forma gradual según los requerimientos de carga y caudal. La acción axial aumenta cuando aumenta el caudal para una determinada potencia. En la turbina Francis mixta, para lograr la doble acción, los álabes deben tener un alabeo muy particular lo que hace que estos aparezcan de una forma abocardada que facilita el desfogue de un mayor caudal.

ÓRGANOS PRINCIPALES DE UNA TURBINA FRANCIS.

Los órganos principales de una turbina Francis se presentan en orden, según es el paso del agua y son los siguientes:

- ✓ **La carcasa, espiral o caracol:** es un ducto alimentador, generalmente de sección circular y diámetros decrecientes con el sentido del flujo que circunda al rotor, procurando el fluido necesario para la operación de la turbina.

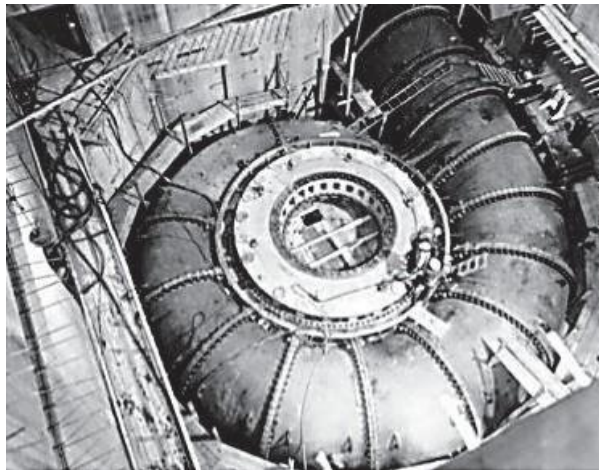


Figura 27 Caracol de una turbina Francis

- ✓ **El distribuidor:** es una serie de álabes directores en forma de persiana circular, cuyo paso se puede modificar con la ayuda de un servomotor, lo que permite imponer al fluido la dirección de ataque exigida por el rodete móvil y además regular el gasto de acuerdo con la potencia pedida a la turbina. En el distribuidor se transforma parcialmente la energía de presión en energía cinética.

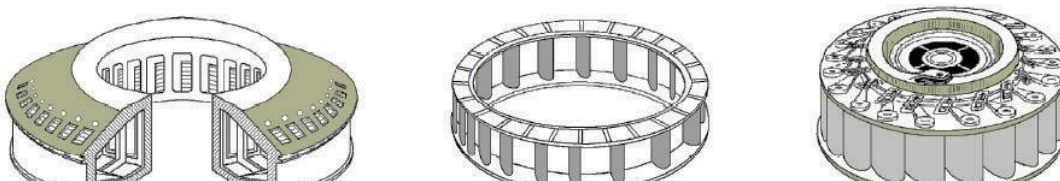


Figura 28 Directrices del distribuidor

- ✓ **El rodete móvil o rotor:** está formado por los álabes engastados en un plato perpendicular al eje de la máquina, de cuyo plato arrancan siguiendo la dirección axial tomando de forma progresiva un alabeo y abriéndose hacia la dirección radial, con lo que el conjunto presenta forma abocardada, tanto más acentuada cuanto mayor sea la acción axial necesaria según las condiciones de caudal y carga definidos para la operación. Los álabes se ciñen en su extremo final por un zuncho en forma de anillo para dar la debida rigidez al conjunto.



Figura 29 Rodete Turbina Francis

Tubo de desfogue o difusor: este elemento es el responsable de conducir al fluido a la salida del rodete de la turbina y al mismo tiempo procura una ganancia de carga estática hasta el valor de presión atmosférica, debido a su forma divergente. En el difusor se tiene una presión más baja que la presión atmosférica y, por lo tanto, una gradiente de presión dinámica más alta a través del rodete. Su forma puede ser simplemente un cono o puede tomar una geometría compleja cuando es acodada lo que implica una sección cónico-elíptica-cuadrangular. La sección acodada permite ubicar el rodete más cerca al nivel de aguas abajo, esto se requiere cuando la turbina tiene velocidades específicas altas, es decir en turbinas Francis de flujo mixto con mucha acción axial.

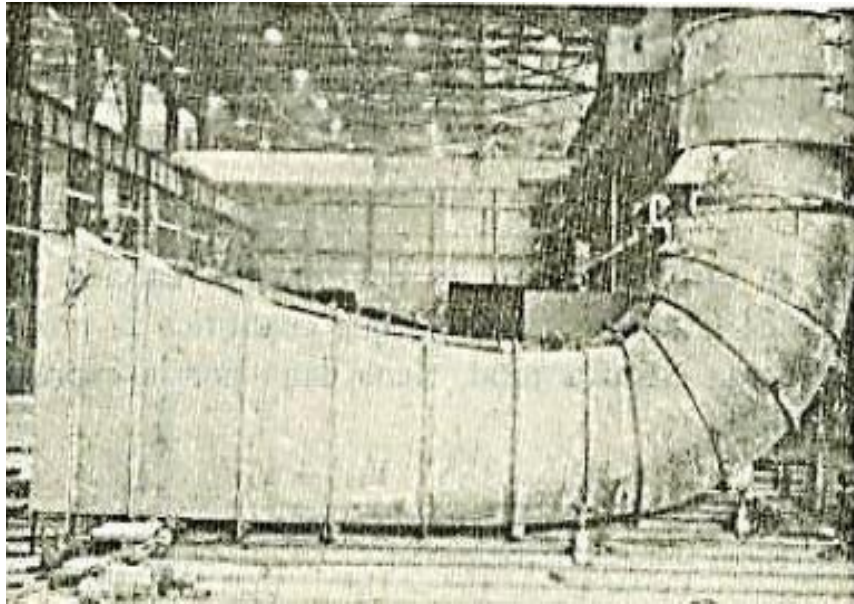


Figura 30 Tubo de desfogue de una turbina Francis

Turbina de flujo cruzado o Michell-Banki

Según Caisachana & Molina (2012): “Es una turbina de acción de flujo transversal, entrada radial y admisión parcial, formada por un inyector y un rodete provisto de un número determinado de álabes curvos” (pág. 30).

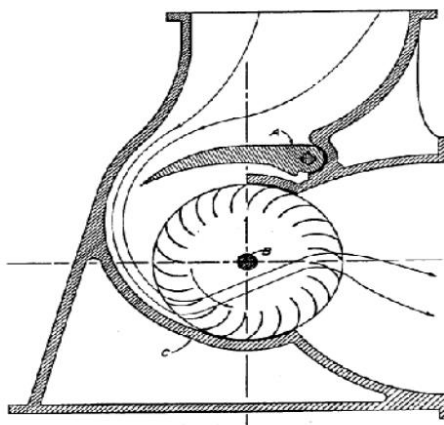


Figura 31: Esquema de la turbina Michell-Banki

Fuente: (Caisachana & Molina, 2012, pág. 30)

Según Caisachana & Molina (2012): “El tipo más conveniente dependerá del salto de agua y de la potencia de la turbina: la turbina Pelton conviene para saltos grandes, la turbina Francis para saltos medianos y la turbina de flujo cruzado o Michell-Banki para saltos pequeños” (pág. 30)

2.2.9.3.8. TRIANGULOS DE VELOCIDAD

Los triángulos de velocidad a la entrada del rodete de las turbinas Francis varían según del ángulo β_1 como se indica a continuación:

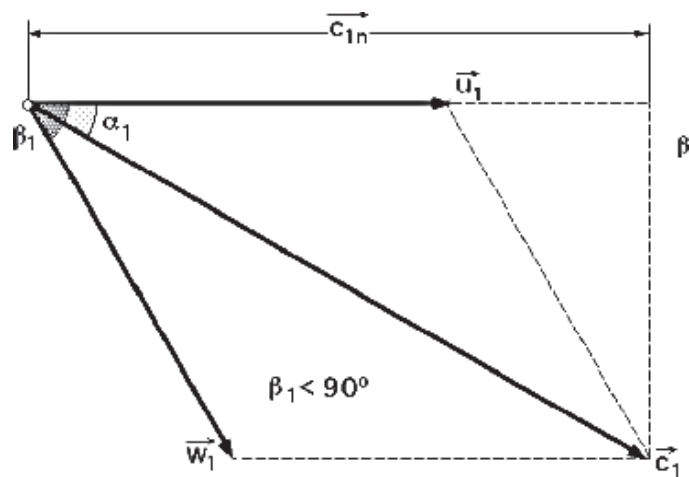


Figura 32 Triángulo de velocidad referencial a la entrada de un rodete Lento

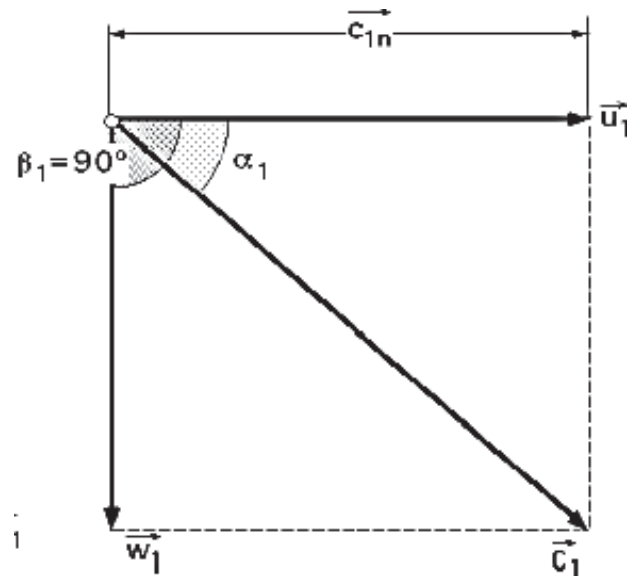


Figura 33 Triángulo de velocidad referencial a la entrada de un rodete normal

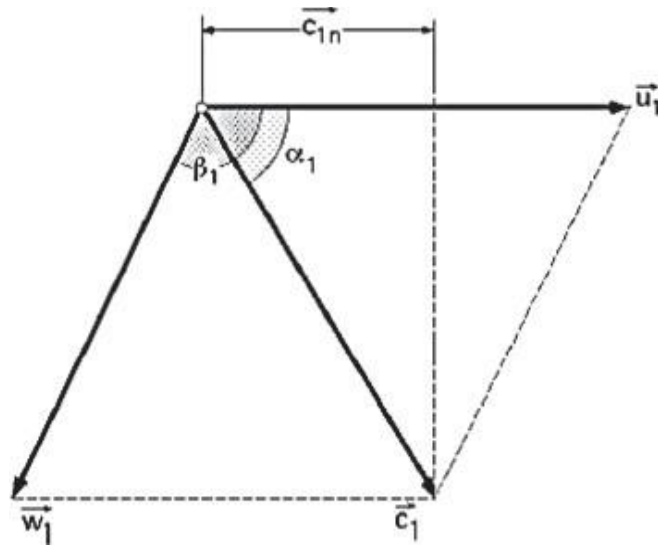


Figura 34 Triángulo de velocidad referencial a la entrada de un rodete rápido

2.2.9.3.9. ECUACION DE EULER

La ecuación de Euler expresa la carga de energía transmitida desde el fluido al rodete y en su primera forma para máquinas motoras se escribe de la siguiente manera:

$$H_u = \frac{u_1 * c_{1u} - u_2 * c_{2u}}{g}$$

Para garantizar el rendimiento máximo, la altura de Euler debe ser máxima.

$$S_t = \frac{H_u}{H_n}$$

H_n : Carga neta [m].

S_t : Eficiencia hidráulica de la turbina.

Para lograr el rendimiento máximo, el término $u_2 * c_{2u}$ debe ser igual a 0, esto significa.

$$u_2 * c_2 * \cos(\alpha_2) = 0$$

u_2 y c_2 Son diferentes de cero esto significa que:

$$\cos(\alpha_2) = 0$$

Por lo tanto

$$\alpha_2 = \arccos(0)$$

Entonces α_2 para condiciones de rendimiento máximo debe ser igual a 90°

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Hidroenergía: “Es la energía que tiene el agua cuando se mueve a través de un cauce o cuando se encuentra embalsada (energía potencial) a cierta altura y se dejar caer para producir energía eléctrica” (Ingfocol Ltda, pág. 1).

Presa. “Se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse” (Ingfocol Ltda, pág. 2).

Sala de máquinas: “Construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores...) y elementos de regulación y control de la central” (Ingfocol Ltda, pág. 2).

Turbina: “Elementos que transforman en energía mecánica la energía cinética de una corriente de agua” (Ingfocol Ltda, pág. 2).

Alternador o generador. “Tipo de generador eléctrico destinado a transformar la energía mecánica en eléctrica” (Ingfocol Ltda, pág. 2).

Conducciones: “La alimentación del agua a las turbinas se hace a través de un sistema complejo de canalizaciones” (Ingfocol Ltda, pág. 2).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: **Aplicada**, porque va a dar solución a un problema de la vida real.

Diseño de investigación: **No experimental**, porque no se van a manipular las variables de estudio.

3.2. Población y muestra

la población está dada por las 13 comunidades nativas del distrito del Cenepa (ver tabla 1).

La muestra: Las 13 comunidades nativas del distrito de Cenepa.

3.3. Técnicas de muestreo

Por conveniencia, no probabilístico. Según la página web: questionpro.com (2019) indica que esta técnica es “utilizada para crear muestras de acuerdo a la facilidad de acceso, la disponibilidad de las personas de formar parte de la muestra, en un intervalo de tiempo dado o cualquier otra especificación práctica de un elemento particular”.

3.4. Hipótesis

Con el diseño electromecánico de la pequeña central hidroeléctrica NAJEN y su posterior implementación se suministrará de energía eléctrica a las comunidades nativas pertenecientes al distrito del Cenepa-provincia de Condorcanqui-Región Amazonas.

3.5. Variables - Operacionalización

Las variables para el presente proyecto son los siguientes

X: Variable independiente: Pequeña central hidroeléctrica.

Y: Variable dependiente: Suministro de energía eléctrica.

Tabla 8
Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
Pequeña central hidroeléctrica.	Se refiere a las centrales hidroeléctricas con una potencia instalada en el rango de 0,5 MW hasta 10 MW (Ortiz, 2011).	Diseño electromecánico de una pequeña central hidroeléctrica.	<p>Cálculo del caudal (m^3/s).</p> <p>Determinar el salto hidráulico (m).</p> <p>Cálculo de la potencia instalada (W).</p>
Suministro de energía eléctrica.	Según la página web: energia-nuclear.net “la energía eléctrica es el movimiento de electrones. Definimos energía eléctrica o electricidad como la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos” (energia-nuclear, 2020).	Cálculo de la demanda de energía eléctrica	Demanda de energía eléctrica (kW.h).

Fuente: Elaboración propia

3.6. Métodos y Técnicas de investigación

Análisis de contenido

Para Bisquerra citado por Revilla (2018) indica que: “es considerada una técnica de recojo de información cualitativa, que permite mediante la sistematización y planificación de la examinación de documentos, obtener información fidedigna, práctica y perspectivas de quienes los han escrito” (pág. 36).

Para la elaboración del marco teórico obtendrá información de tesis, revistas, libros, páginas web.

Observación científica

Según Díaz (2011) “Observar científicamente. Significa observar un objetivo claro, definido y preciso: el investigador sabe que es lo que desea observar y para que quiere hacerlo, lo cual implica que debe preparar cuidadosamente la observación” (pág. 7). Para la aplicación de esta técnica se realizarán visitas para ubicar los equipos electromecánicos cuyo, realizar mediciones de caudal, todo ello quedara registrado en el fotográfico.

3.7. Descripción de los instrumentos utilizados

En el Análisis documental: De donde se obtiene la información para realización del marco teórico se obtuvo libros, revistas científicas, páginas web.

En la técnica de la Observación: papel, lapicero, cámara fotográfica.

3.8. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Los datos de caudal serán procesador en hojas de cálculo en Excel, la información de equipos que utilizarán las familias y el cálculo de la energía demanda con proyección se realiza en Office. Se utilizará estadística descriptiva.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de estudio

Para la generación de energía se debe optar por la creación del servicio eléctrico aislado con uso de energía hidráulica en el centro poblado de Huampami y comunidades nativas del medio Cenepa del distrito de Cenepa - provincia de Condorcanqui - región Amazonas para poder aprovechar la regulación del agua en el río Najen y el aporte de agua trasvasada desde este río. El caudal para generación será captado directamente desde la presa Najen y conducido mediante una tubería a baja presión de 63 m de longitud. La tubería de aducción se conectará con la tubería de presión mediante una cámara de válvulas, que, a la vez, conectará con una chimenea de equilibrio. El agua será conducida hacia la casa de máquinas mediante una tubería forzada de 70 m de longitud. La casa de máquinas albergará a un grupo de turbinas Francis la que generarán 2.5 MW. Las aguas turbinadas serán devueltas al río Najen mediante un canal de descarga.

4.2. Descripción del sistema propuesto

Debido a la falta de suministro de energía eléctrica en 13 comunidades nativas (ver tabla 1) pertenecientes al distrito del Cenepa-provincia de Condorcanqui región Amazonas se propone aprovechar la regulación del agua en el río Najen y el aporte de agua trasvasada desde este río. El caudal para generación será captado directamente desde la presa Najen y conducido mediante una tubería a baja presión. La tubería de aducción se conectará con la tubería de presión mediante una cámara de válvulas, que, a la vez, conectará con una chimenea de equilibrio. El agua será conducida hacia la casa de máquinas mediante una tubería forzada. La

casa de máquinas albergará a un grupo de turbinas. Las aguas turbinadas serán devueltas al río Najen mediante un canal de descarga.

Tabla 9 Parámetros básicos de la central hidroeléctrica Najen

Parámetros básicos	
Caudal de diseño (m ³ /s)	5.0
Nivel de captación (msnm)	350.0
Nivel de eje de turbinas (msnm)	281.0
Salto Bruto (m)	79.0
Salto Neto (m)	71.1
Potencia instalada (MW)	2.5
Factor de planta	0.85

Dentro de la tabla 8 se resume las características del sistema propuesto, como también se describe el esquema hidroeléctrico de la central propuesta:

Tabla 10 Descripción técnica de la central hidroeléctrica Najen

Descripción del esquema hidroeléctrico	
Bocatoma Río Najen	
Tipo de captación	Bocatoma Tirolesa o Toma de fondo
Longitud del barraje	1.25x4.25m
Dimensiones de la rejilla	1.50x7m
Presa Najen	
Cuerpo de presa	Presa de tierra homogénea
Nueva longitud de coronación	202 m
Tipo de vertedero	Pico de pato rectangular
Longitud de vertedero	7 m
Descarga máxima de vertedero	5m ³ /s
Tipo de toma de servicio	Toma directa sumergida controlada con válvula esférica
Tubería de aducción	
Tipo de sección constructiva	Enterrada con plataforma superior para acceso
Longitud de la conducción	40 m
Diámetro de la conducción	0.8 m
Material de Tubería	GRP (Poliéster reforzado con fibra de vidrio)

Tubería forzada	
Longitud de tubería forzada	35 m
Diámetro de tubería forzada	Variable (m): 0.60, 0.55, 0.51 y 0.36 después de la bifurcación
Material de Tubería	Acero
Casa de máquinas y equipamiento electromecánico	
Tipo de casa de máquinas	Superficial
Unidades de generación	2 x Francis
Capacidad instalada	2.5 MW
Inteconexión	
Barra de conexión	Achu y Najen 22.9 kV
Longitud de la Línea de transmisión	12 km
Nivel de tensión	22.9 kV
Calibre del conductor	50 AAAC mm ²

1

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Estudio Hidrológico

El presente estudio tiene como finalidad el estudio de hidrología de la cuenca de río Najen con el propósito de obtener el caudal de diseño para nuestro aprovechamiento hidroeléctrico. Este proyecto consiste en una pequeña central hidroeléctrica que utilizará el recurso hídrico proveniente del río Najen, ubicado en el distrito de El Cenepa, provincia de Condorcanqui, Departamento de Amazonas.

Comprende las características principales de la cuenca del río Najen, la hidrografía, fisiografía; seguidamente se desarrollan los parámetros geomorfológicos, un análisis hidrometeorológico de la información recopilada en estudios previos, entidades estatales y otros.

Se realizó la estimación de caudales a nivel mensual en los puntos de interés, el caudal ecológico y se analizó la persistencia de dichos caudales.

5.1.1. Descripción General de la Cuenca

El área de influencia del Proyecto, abarca el Centro Poblado Huampami, capital del Distrito de El Cenepa y las Comunidades Nativas de Achu y Tseasim. El río Najen constituye la fuente principal del presente proyecto, se encuentra ubicado a 3 km de la comunidad de Achu con coordenadas UTM Este 819042 y Norte 9510201 dentro del departamento de Amazonas.

Toma	: este:819826 y norte:9510551
Inicio de canal	: este :819776 y norte:9510540
Fin de canal	: este:819165 y norte:9510317
Cámara de carga	: este:819145 y norte:9510319
Casa de máquinas:	este:819053 y norte:9510209



Figura 35. Ubicación de proyecto

Fuente: Google earth

- **Accesibilidad-Vías de Comunicación:**

El acceso al Distrito de El Cenepa es por vía terrestre y fluvial; el acceso terrestre es por carretera, ingresando en camioneta y auto, desde la ciudad de Bagua se toma la carretera asfaltada Bagua-Imaza-Imacita, en un tiempo de 02 horas con 30 minutos a través de camioneta o vehículo menor, recorriendo una distancia de 138 Km; siendo el costo de transporte desde la ciudad de Bagua a Imacita es de S/. 35.00, el transporte fluvial en un segundo tramo es desde Puerto Imacita hasta C.P. Huampami, capital del Distrito de El Cenepa; a través del río Marañón hasta la confluencia de los ríos Marañón y Cenepa, luego a partir del río Cenepa, aguas arriba; haciendo un recorrido fluvial de tres horas, si es en chalupa y de hasta 6 horas si el viaje es en bote. El Costo del pasaje por persona desde Puerto Imacita hasta al C.P. Huampami es de 70 soles por persona; sin embargo, para el transporte fluvial, no todos los días hay transporte; obligando

muchas veces a pagar servicio de chalupa taxi, teniendo un costo promedio de S/.1,600 de ida y vuelta.

- **Aspectos Socioeconómicos**

El área de influencia del proyecto, comprende directamente a 3km de la comunidad de Achu. Esta comunidad tiene como actividad principal la agricultura, destacando principalmente el cultivo de yuca, maní, cacao, entre otras. Las comunidades del Centro Poblado de Huampami no cuentan con energía eléctrica. Asimismo, cuenta con una Institución educativa a nivel primario y secundario. Tienen como principal zona de comercio al Centro Poblado de Huampami.

- **Geomorfología**

La cuenca de influencia del Proyecto de la Mini Central Hidroeléctrica Najen, está formada por la cuenca del río Najen. Aguas abajo de la descarga se une con el río Huampami.

Las aguas del río Najen son captadas en la cota 352 m.s.n.m. y serán conducidas por un canal que en su recorrido no capta las aguas de las pequeñas quebradas existentes, y luego conducirá las aguas hacia la mini central hidroeléctrica.

Tabla 11 Parámetros geomorfológicos de las cuencas de interés

Parámetros	Símbolo	Cuenca
Área de la cuenca	A (km ²)	1400
Longitud mayor	L(km)	14
Ancho promedio de la cuenca	L (m)	13.09
Altitud media de la cuenca	msnm	352

5.1.2. Análisis de la Precipitación

- **Estaciones Pluviométricas**

La cuenca alta del río Najen la cual desemboca en el río Huampami y al mismo tiempo alimenta al río Marañón, de tal manera no tenemos estación hidrológica lo más cercano, en este caso como es la misma cuenca la que alimenta al río Marañón, Además de la cantidad precipitada es importante anotar qué tipo de fenómeno (lluvia, llovizna, chubasco, con o sin tormenta) a dado lugar a la precipitación. Los datos se anotan siguiendo el horario del día pluviométrico. Para este caso hemos tomado los datos de la estación hidrológica del puente Salinas Amojao que se encuentra en el departamento de Amazonas provincia de Bagua.

La siguiente figura muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas más cercanas a las cuencas de interés.



Figura 36. Mapa de estaciones pluviométricas utilizadas

Fuente: SENAMHI, PANAPEX.

La tabla siguiente presenta la relación de estaciones que han sido utilizadas en el presente estudio y los años de información completa disponible.

Tabla 12 Ubicación de las estaciones

N°	ESTACION	ESTACION (msnm)	LATITUD	LONGITUD
1	Puente Salinas Amojao	381	5°27'3.46" S	78°29'21.84" W

- Tratamiento de la información Pluviométrica**

Se presenta el procedimiento y resultados los análisis de consistencia y extensión de las series pluviométricas.

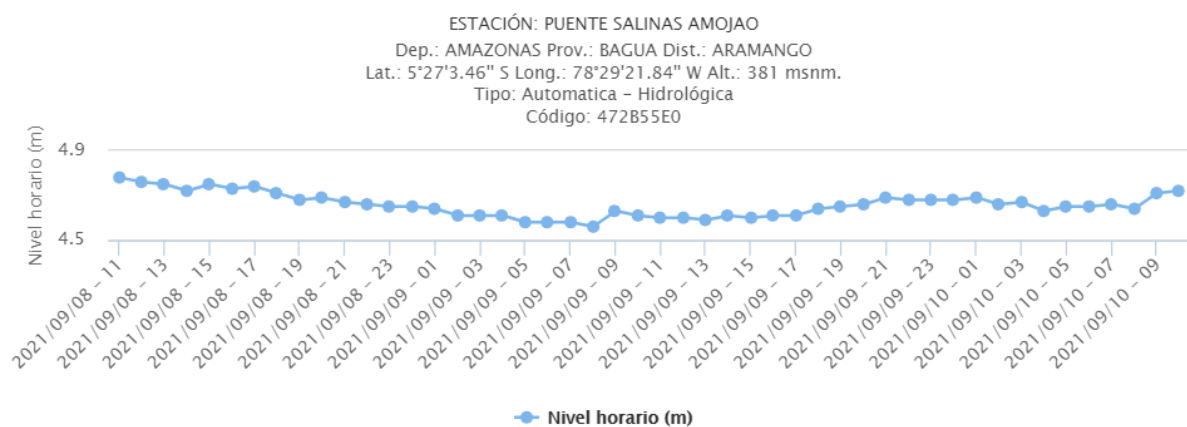


Figura 37. Histograma de precipitación de la estación analizada

- Corrección de la precipitación anual**

Todas las estaciones en las cuales el análisis arrojaba “si” se corrigen empleando la siguiente fórmula:

$$X_i = \left(\left(\frac{X_0 - X_2}{S_2} \right) * S_1 \right) + X_1$$

Dónde:

X_i : Valor corregido de la información;
 X_0 : Valor a ser corregido de la información;

- X_2 : Media del periodo dudoso;
 S_2 : Desviación estándar del periodo dudoso;
 X_1 : Media del periodo confiable;
 S_1 : Desviación estándar del periodo confiable;

En el anexo A2.1 se muestran los resultados.

5.1.3. Factores que pueden afectar el caudal del río Najen

- **Superficie de la cuenca**

La superficie de la cuenca de un río es el factor más importante que determina el caudal del mismo. Generalmente, cuando se tienen dos ríos que mantienen igualdad de condiciones (zonas de clima y relieve similar), presentará mayor caudal el río que presente la cuenca más extensa. Por ejemplo, el río Najen es el río que presenta una cuenca de más de 30 de Km², siendo esta la cuenca extensa y la que presenta un buen caudal de 22.451 m³/s en tiempos de estiaje y en tiempos de avenida de 25.324 m³/s.



Figura 38. Labores de campo en el río Najen

- **Clima**

Las zonas donde se presentan climas más húmedos y lluviosos generan que los ríos tengan un caudal más constante y abundante, en cambio si los ríos discurren por zonas donde el clima sea diverso, el caudal que estos dependerá de la estación del año que se presente en la zona. En este caso tenemos un clima húmedo y es bastante lluvioso debido a la abundante vegetación, el cual es buen punto para que el caudal del río no disminuya su caudal y como también se captó información de los habitantes de la zona los cuales mencionaron que el caudal del río siempre permanece constante debido a la abundante lluvia de las zonas más altas.

- **Régimen fluvial**

Se define el régimen fluvial como la evolución del caudal de una corriente durante un año a lo largo de todo su curso. Este factor se encuentra ligado a factores naturales como relieve, litología, clima y vegetación, así como a acciones antrópicas ya sean positivas o negativas. El régimen fluvial depende de la precipitación debido a que esta alimenta el caudal de la mayoría de fuentes hídricas.

- **Vegetación Natural**

La presencia de la vegetación natural en sectores aledaños al río, es un factor que ayuda a generar zonas de estabilidad en las orillas, disminuyendo el riesgo de erosión del suelo por la acción de la corriente, en general, las zonas más próximas a los cauces tienen buenas condiciones para la retención de agua y sedimentos creando zonas óptimas para el almacenamiento de agua y así mismo formando llanuras de inundación. Cuando se tienen raíces en la fuente hídrica, aumenta la cohesión del suelo y su resistencia, a la vez que disipa la energía y velocidad del cauce de las aguas.



Figura 39. Vista del río Najen

5.1.4. Estimación de caudales medios

- **Método de Zonas de Vida.**

El primer método es el de las zonas de vida de Holdridge, el cual se basa en valores de precipitación y evapotranspiración de las zonas de vida dentro de la cuenca, así como de coeficientes de escurrimiento. Luego cada zona de vida dentro de la cuenca tendrá un rendimiento hídrico ($l/s/km^2$) asociado y el caudal medio quedará definido por el promedio ponderado de los escurrimientos de cada zona de vida. La siguiente figura muestra las zonas de vida en el ámbito de las cuencas estudiadas. Para este se obtuvo datos de la estación meteorológica de Chiriaco y de Santa María de Nieva.

Ubicación 1er catarata

Tramo de diseño

Ubicación 3er catarata

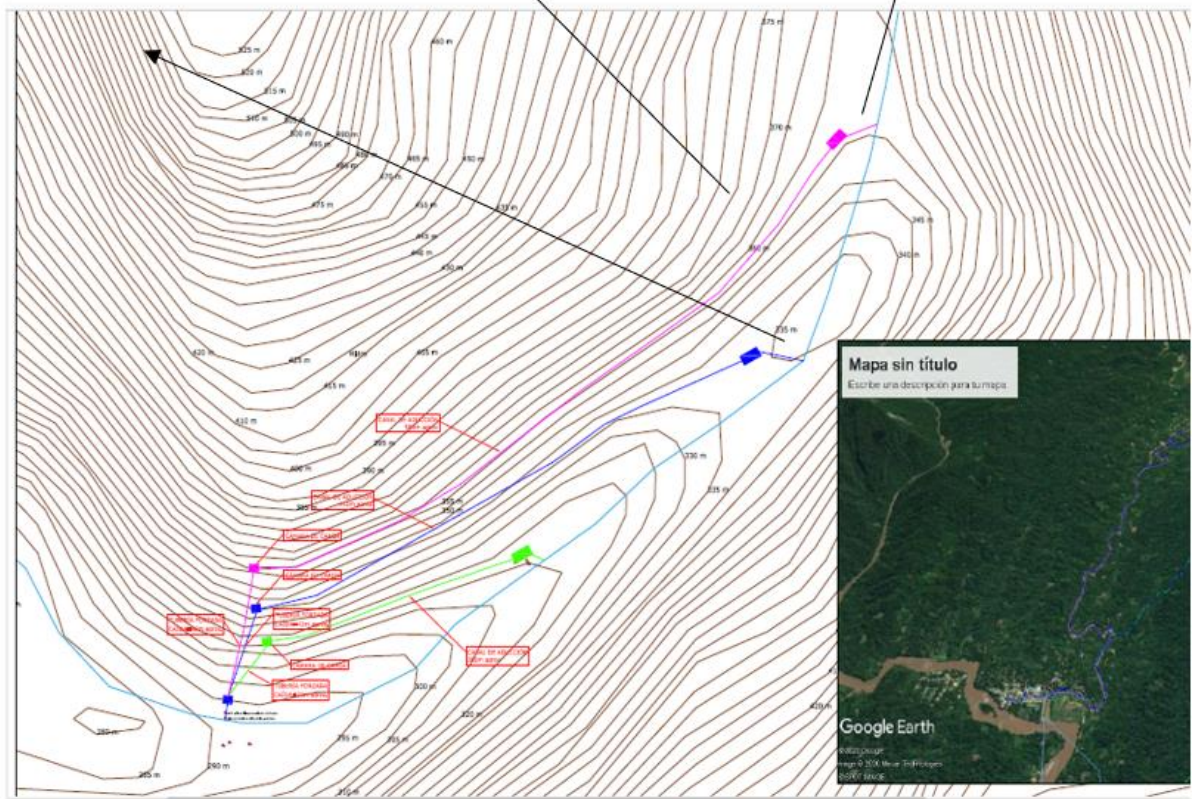


Figura 40. Mapa de zonas de vida de las cuencas Rio Najen

Holdridge, basado en la hipótesis de que el valor de la evapotranspiración potencial es uno en cualquier isoterma de la superficie terrestre y que los movimientos de agua atmosférica siguen un patrón regular en área de clima y suelos zonales, construyó el “Nomograma de Movimientos de agua en asociaciones climáticas”, para permitir la extrapolación de los valores de tales movimientos de agua, de cualquier lugar localizado dentro de cualquier asociación climática.

A partir del Nomograma mencionado, se puede evaluar de manera indirecta el escurrimiento medio anual a partir de la precipitación media anual y del coeficiente de escurrimiento, en base a la siguiente ecuación general:

$$E = K \cdot P$$

Donde:

E: Esgurrimiento superficial medio anual, en mm

K: Coeficiente de esgurrimiento, adimensional

P: Precipitación media anual, en mm

Está determinado que el coeficiente de esgurrimiento para bosques densos es de 0.13.

$$Q = \frac{A \cdot E}{t}$$

Donde:

A: Área de la Cuenca

t: Tiempo correspondiente a un año.

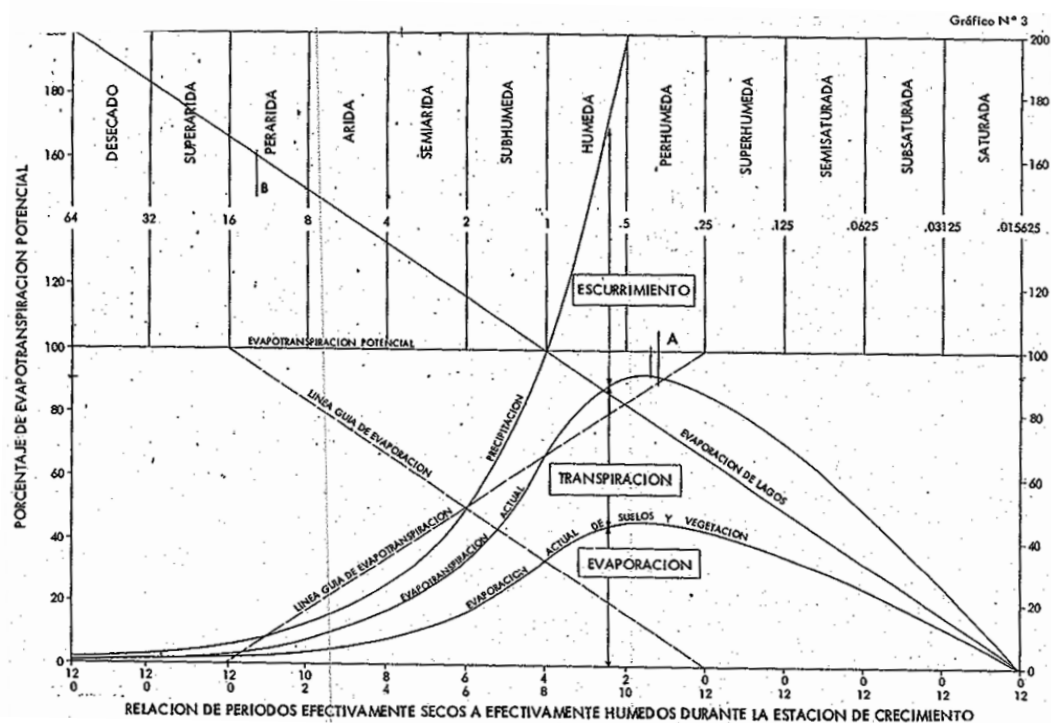


Figura 41. Nomograma de Movimientos de agua en asociaciones climáticas

Las siguientes tablas muestran el resultado de la estimación del caudal medio por el método de zonas de vida.

Tabla 13 Caudal medio por Zonas de Vida – Río Najen

AREA [km ²]	BIO T [°C]	PMA [mm]	k	E [mm]	E*A [mm]	Q [m ³ /S]
1400	20	30	0.13	3.9	5460	14.959

- **Método área velocidad**

Este método consiste básicamente en medir en un área transversal de la corriente, previamente determinada, las velocidades de flujo con las cuales se puede obtener luego el caudal. El lugar elegido para hacer para hacer el aforo o medición debe cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ La sección transversal debe estar bien definida y que en lo posible no se presente agradación o degradación del lecho.
- ✓ Debe tener fácil acceso.
- ✓ Debe estar en un sitio recto, para evitar las sobreelevaciones y cambio en la profundidad producidos por curvas.
- ✓ El sitio debe estar libre de efectos de controles aguas abajo, que puedan producir remansos que afecten luego los valores obtenidos con la curva de calibración (perfiles M1 y S1).

Uno de los procedimientos más comunes empleados en este método es el descrito o continuación.

En el sitio que se decidió hacer el aforo, se hizo un levantamiento topográfico completo de la sección transversal, el cual dependió de su ancho y profundidad, para las mediciones correspondientes se utilizó una cinta métrica y un cordel, el cual se midió el cordel para pasar de extremo a extremo del río y para las profundidades una madera

medida por escalas con la cinta métrica. La sección escogida se divide en tramos iguales tal como se muestra en la figura.

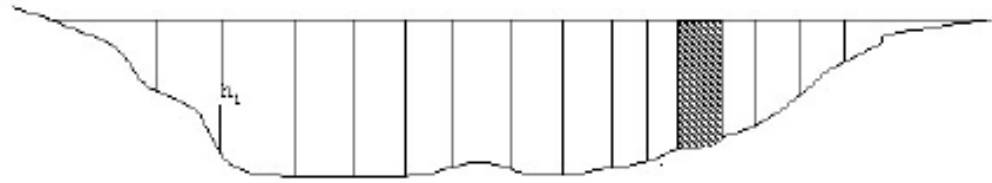


Figura 42. Representación de la sección transversal del Río Najen

En cada vertical de las varias en que se divide la sección, se miden velocidades con el correntómetro a 0,2, 0,6 y 0,8 de la profundidad total. Cada vertical tiene su respectiva área de influencia (sombreada en la gráfica).

Las verticales tienen las siguientes características:

- El ancho entre ellas no es mayor que 1/15 a 1/20 del ancho total de la sección.
- El caudal que pasa por cada área de influencia A_i no es mayor que el 10%
- la diferencia de velocidades entre verticales no sobrepasa el 20%.

Mediante las siguientes formulas se han obtenido los cálculos correspondientes al caudal.

La velocidad media en cada vertical es:

$$\bar{V}_i = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3}$$

El caudal Q_i correspondiente a la respectiva área de influencia, A_i , es:

$$Q_i = \bar{V}_i A_i$$

Y el caudal total, Q_T , será entonces:

$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i$$

Cuando las profundidades de las secciones son pequeñas, menores a 0,6m de la profundidad, velocidad que se considera representativa de la velocidad media de la vertical.

Tabla 14 Cálculo de la velocidad promedio y caudal de diseño

DISTANCIA DE TRAMO	TIEMPO [s]	velocidad [m/s]
15.00	24.00	0.625
15.00	22.00	0.682
15.00	21.00	0.714
15.00	23.00	0.652
15.00	25.00	0.600
VELOCIDAD PROMEDIO		0.655

Cálculo del caudal total

velocidad promedio	área promedio	caudal [m3/s]
0.655	34.296	22.45

Caudal de Diseño [m3/s]
5

5.1.5. Caudales Medios Mensuales

El desarrollo de un proyecto hidroeléctrico requiere de series de caudales de por lo menos una resolución mensual, que permitan elaborar una proyección de la energía generada.

Para la construcción de esta serie de caudales, se ha utilizado la información disponible de las estaciones meteorológicas vecinas debido a la inexistencia de información disponible, lo cual se asumió la precipitación mensual, la temperatura máxima y mínima y lo hemos aplicado en la siguiente formula:

$$E = K \cdot P$$

Donde:

E: Esgurrimiento superficial en mm

K: Coeficiente de esgurrimiento, adimensional

P: Precipitación media en mm

Una vez determinado el coeficiente de esgurrimiento se determina el caudal distribuyendo el esgurrimiento en el área de la cuenca:

$$Q = \frac{A \cdot E}{t}$$

Donde:

A: Área de la Cuenca

t: Tiempo correspondiente a un año.

Tabla 15 Serie de caudales medios mensuales del Río Najen.

MES	AREA [km2]	BIO T [°C]	PMM [mm]	k	E [mm]	E*A [mm]	Q [m3/S]
Enero	900	30	30	0.13	3.9	3510	9.61644
Febrero	900	35	31	0.13	4.03	3627	9.93699
Marzo	900	35	34	0.13	4.42	3978	10.8986
Abril	900	25	28	0.13	3.64	3276	8.97534
Mayo	900	28	31	0.13	4.03	3627	9.93699
Junio	900	30	37	0.13	4.81	4329	11.8603
Julio	900	34	35	0.13	4.55	4095	11.2192
Agosto	900	29	36	0.13	4.68	4212	11.5397
Setiembre	900	27	32	0.13	4.16	3744	10.2575
Octubre	900	28	34	0.13	4.42	3978	10.8986
Noviembre	900	25	35	0.13	4.55	4095	11.2192
Diciembre	900	27	35	0.13	4.55	4095	11.2192

5.1.6. Caudal ecológico

Para la estimación del caudal ecológico a tener en cuenta para las alternativas de aprovechamiento, se ha utilizado el criterio empleado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en las resoluciones otorgadas a otros proyectos hidroeléctricos. Según este criterio, el caudal ecológico debe ser estimado de la siguiente manera:

- ✓ Para cursos con caudales medios anuales menores o iguales a 20 m³/s, el caudal ecológico será, para la época de avenida, como mínimo el 10% del caudal medio mensual, y para la época de estiaje el 15% del caudal medio mensual.
- ✓ Para cursos con caudales medios anuales mayores a 20 m³/s y menores o iguales a 50 m³/s, el caudal ecológico será; para la época de avenida como mínimo el 12% del caudal medio mensual, y para la época de estiaje el 15% del caudal medio mensual.
- ✓ Para cursos con caudales medios anuales mayores a 50 m³/s, el caudal ecológico será como mínimo el 10% del caudal medio mensual para todos los meses del año.
- ✓ El periodo de avenida comprende desde el mes de diciembre a abril y el periodo de estiaje desde mayo a noviembre.

Debido a que el caudal medio en todos los puntos es menor a 20 m³/s, se adopta el primer criterio según el cual el caudal ecológico es el 10% para la época de avenida y 15% para la época de estiaje.

Tabla 16 Caudal ecológico estimado en cada alternativa.

CAUDAL ECOLOGICO	
MESES	Q [m3/S]
ENERO	0.96164384
FEBRERO	0.99369863
MARZO	1.08986301
ABRIL	0.89753425
MAYO	1.49054795
JUNIO	1.7790411
JULIO	1.68287671
AGOSTO	1.7309589
SETIEMBRE	1.53863014
OCTUBRE	1.63479452
NOVIEMBRE	1.68287671
DICIEMBRE	1.12191781

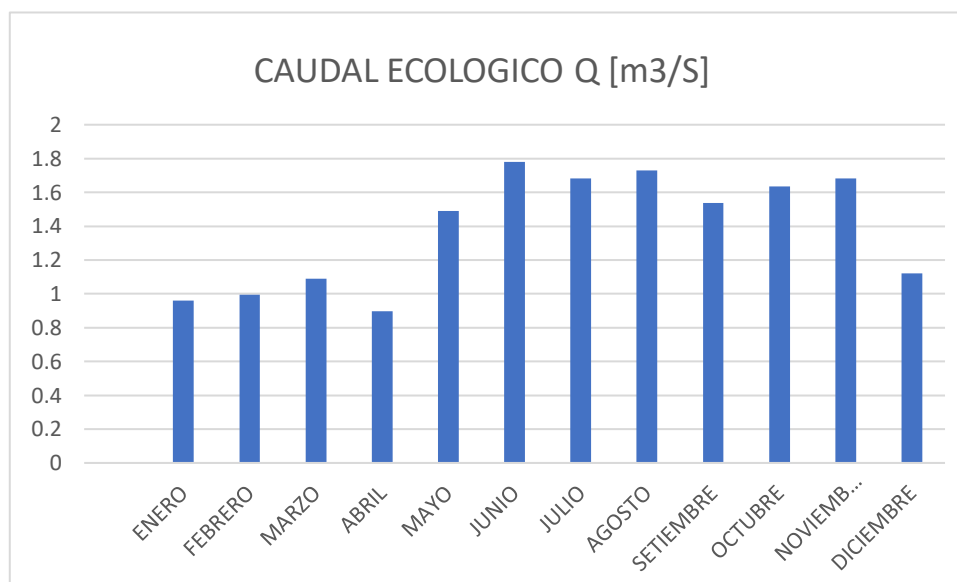


Figura 43. Caudal ecológico mensual

5.1.7. Análisis de máximas avenidas

El análisis de máximas para un proyecto de generación hidroeléctrica juega un papel muy importante en el diseño y seguridad de la obra de captación, así como para la definición del nivel de la descarga de la casa de máquinas.

El análisis de máximas avenidas fue realizado en base a los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación vecina de Chiriaco y de Santa María de Nieva las cuales son estaciones más cercanas a la zona del proyecto.

Según la tabla de la estación meteorológica de Santa María de Nieva (ver anexos) la precipitación máxima en el mes de julio es 31.4 mm, a continuación, se muestra la gráfica de la precipitación máxima alcanzada en el mes de julio.

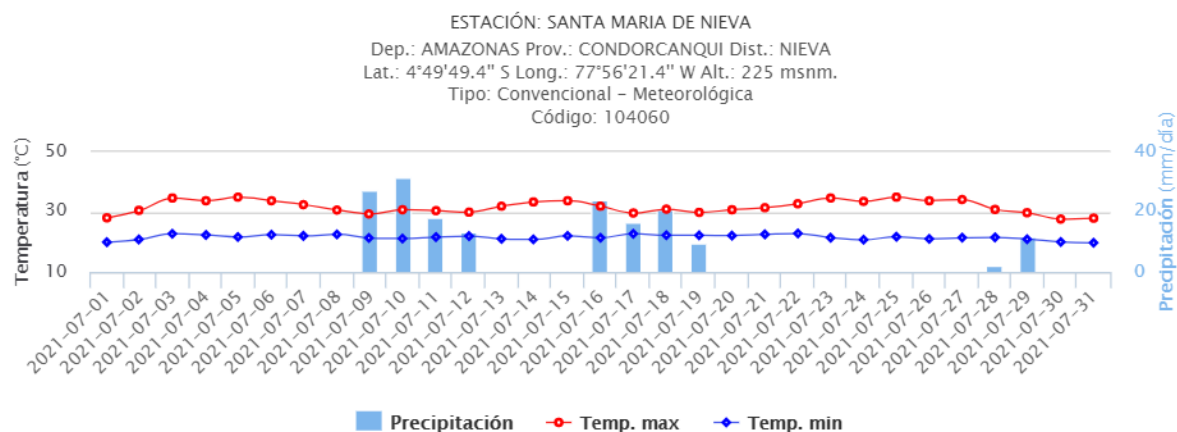


Figura 44. Precipitaciones Máx. y Mín. Estación Santa María de Nieva

Según la tabla de la estación meteorológica de Chiriaco la precipitación máxima en el mes de marzo es 34.9 mm, a continuación, se muestra la gráfica de la precipitación máxima alcanzada en el mes de marzo.

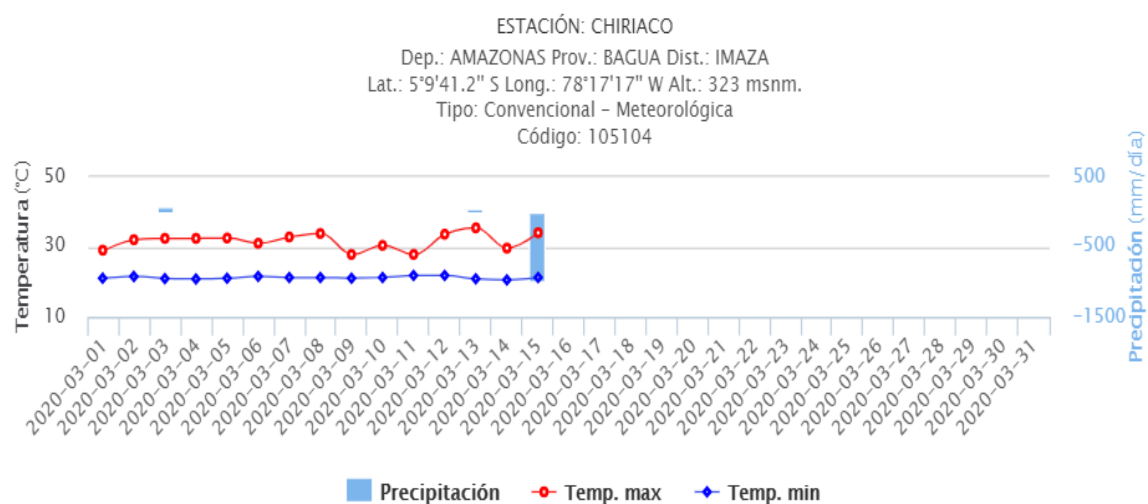


Figura 45. Precipitaciones Máx. y Mín. Estación Chiriaco

5.2. Estudio de Mercado Eléctrico

El estudio de mercado eléctrico para las 13 localidades a beneficiarse, se ha desarrollado para un horizonte 20 años, los resultados del estudio de mercado eléctrico se presenta en el Anexo 1. El estudio de mercado eléctrico nos da como resultado una demanda de 1,04MW al año 1 y 1,83MW al año 20 como puede observarse en la tabla 17.

Desde la S.E. Najem en 4,16/22,9 kV 3.0 MVA, se suministrarán energía a las localidades beneficiadas en el presente proyecto.

Tabla 17 Resumen de Estudio de Mercado Eléctrico – Proyección de Máxima Demanda

PROYECCION DE LA MAXIMA DEMANDA (kW)

CREACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO AISLADO CON USO DE ENERGÍA HIDRÁULICA EN EL CENTRO POBLADO DE HUAMPAMI Y COMUNIDADES NATIVAS DEL MEDIO CENEPA DEL DISTRITO EL CENEPA – PROVINCIA DE CONDORCANQUI – REGIÓN AMAZONAS

Item	Localidad	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
1	Huampami	60,78	62,91	65,11	67,38	69,71	72,12	74,59	77,14	79,76	82,46	85,24	88,10	91,03	94,06	97,17	100,37	103,67	107,06	110,54	114,12
2	Achu	36,54	37,80	39,11	40,45	41,83	43,25	44,72	46,22	47,77	49,37	51,01	52,69	54,43	56,22	58,05	59,95	61,88	63,88	65,94	68,05
3	Tseasim	6,58	6,77	6,97	7,17	7,37	7,59	7,80	8,02	8,25	8,48	8,72	8,96	9,21	9,46	9,72	9,99	10,26	10,54	10,82	11,12
4	La Banda	1,22	1,26	1,28	1,32	1,34	1,37	1,41	1,44	1,48	1,50	1,54	1,58	1,61	1,65	1,69	1,73	1,77	1,81	1,85	1,89
5	Kayamas	1,68	1,72	1,76	1,81	1,85	1,90	1,94	1,99	2,04	2,08	2,14	2,18	2,23	2,29	2,34	2,40	2,46	2,51	2,57	2,64
6	Aintam	2,35	2,41	2,47	2,54	2,61	2,67	2,73	2,80	2,88	2,95	3,02	3,09	3,17	3,25	3,33	3,41	3,50	3,58	3,67	3,76
7	Chavez Valdivia	3,64	3,74	3,84	3,94	4,04	4,14	4,25	4,36	4,48	4,60	4,71	4,83	4,95	5,08	5,21	5,34	5,48	5,62	5,76	5,90
8	Nanchik Entsa	2,38	2,44	2,50	2,57	2,63	2,70	2,77	2,83	2,91	2,97	3,06	3,13	3,20	3,28	3,37	3,44	3,53	3,62	3,70	3,79
9	Canga	2,25	2,31	2,36	2,42	2,48	2,55	2,61	2,67	2,75	2,81	2,88	2,95	3,02	3,09	3,17	3,25	3,33	3,41	3,49	3,57
10	Kumpim	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	1,02	1,05	1,07	1,09	1,12	1,14	1,17	1,19	1,22	1,24	1,27	1,30	1,32
11	Yuwi Entsa	2,31	2,39	2,47	2,57	2,65	2,75	2,83	2,92	3,02	3,11	3,21	3,30	3,41	3,50	3,61	3,71	3,81	3,92	4,04	4,15
12	Najem	1,61	1,65	1,69	1,73	1,78	1,82	1,86	1,90	1,95	1,99	2,04	2,09	2,14	2,18	2,24	2,29	2,34	2,39	2,45	2,50
13	Varios Distrital	916,05	944,69	974,08	1004,24	1035,17	1066,92	1099,48	1132,87	1167,12	1202,25	1238,28	1275,21	1313,08	1351,91	1391,72	1432,53	1474,37	1517,25	1561,19	1606,23
	TOTAL	1038,27	1070,99	1104,56	1139,08	1174,42	1210,76	1247,99	1286,18	1325,46	1365,64	1406,94	1449,23	1492,62	1537,14	1582,81	1629,63	1677,64	1726,86	1777,32	1829,04

5.3. Dimensionamiento de los componentes de la pequeña central hidroeléctrica NAJEN.

5.3.1. Determinación del tipo de turbina

Para determinar el tipo de turbina a seleccionar teniendo en cuenta el caudal de diseño, teniendo en cuenta que este tiene un valor de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ por turbina) y el salto neto de $62,1 \text{ m}$ de la figura 22 se ha considerado trabajar con turbinas de acción tipo Francis, se ha considerado 2 turbinas.

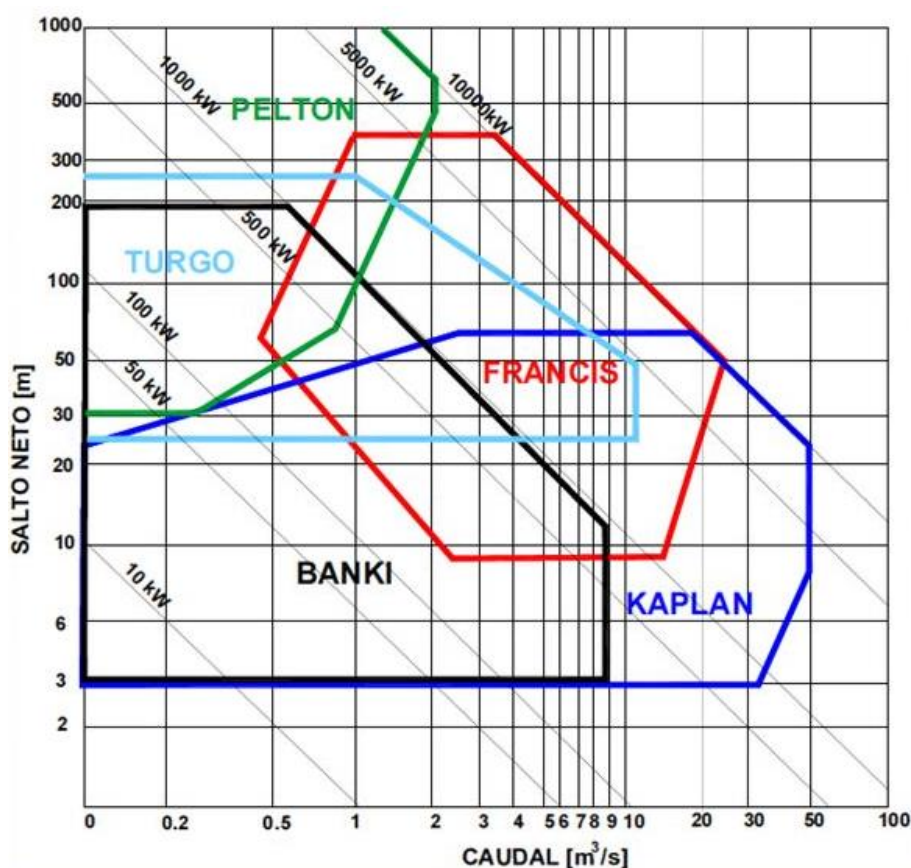


Figura 46. Selección del tipo de turbina a utilizar

Fuente: (Palma & Peña, 2018, pág. 22)

Según los datos para la central se ha seleccionado la turbina de acción tipo Francis.

5.3.1.1. Determinación del diámetro del rodete para la turbina francis

Para el diseño de una turbina Francis el primer paso a seguir es determinar la velocidad específica de la misma; para lo cual es necesario determinar la potencia neta de la instalación

$$P_t = \gamma \times Q \times H_n \times e$$

Donde:

$$\gamma = 9.81 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

P_T =Potencia Nominal de la turbina [kW]

Q = Caudal [m^3/s]

H_n =Carga neta [m]

e = Factor de eficiencia de la central, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía:

$$e = R_t * R_g * R_s$$

R_t = rendimiento de la turbina

R_g = rendimiento del generador

R_s = rendimiento del transformador de salida

$$P_t = 9.81 * 5 * 62.1 * 0.85 = 2589.10425 \text{ KW}$$

Es frecuente que las unidades de potencia sean los CV para lo cual se debe hacer la transformación de unidades.

$$P_{t_{CV}} = \frac{P_t[\text{kW}]}{0.73549875} = \frac{2589.10425}{0.73549875} = 3698.6$$

Cada turbina está caracterizada por una velocidad específica o *Número de revoluciones específico ns*.

Y es el número de revoluciones por minuto al que giraría una turbina para que con un salto de 1 metro, generase una potencia de 1 CV.

La velocidad específica se define mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_s = \frac{N \times \sqrt[5]{P_t}}{H_n^{\frac{4}{3}}}$$

Donde:

N : Velocidad de rotación de la turbina en rpm.

P_t : Potencia nominal de la turbina en CV.

H_n : Carga neta de la turbina en m.

$$n_s = 1200 * \frac{\sqrt[5]{3698.6}}{62.1^{\frac{4}{3}}} = 254.85 \text{ rpm}$$

En el sistema de unidades SI, este parámetro fundamental en el dimensionamiento de las turbinas que es el número específico de revoluciones n_q requerido.

Para que un tipo específico de turbina evacúe un caudal de 1 m³ /seg con una carga neta de 1 metro, con el máximo rendimiento posible se expresa de la siguiente manera:

$$n_q = N * \frac{\sqrt[3]{Q}}{H_n^{\frac{4}{3}}}$$

Donde:

N : Velocidad de rotación de la turbina en rpm.

Q : Caudal nominal de la turbina en m³ /s.

H_n : Carga neta de la turbina en m.

$$n_q = 1200 * \frac{\sqrt[3]{2.5}}{62.1^{\frac{4}{3}}} = 85.7 \text{ rpm}$$

Las turbinas hidráulicas se clasifican según el número específico de revoluciones:

n_s	Turbina	n_q
$2 \leq n_s \leq 30$	Pelton de una boquilla	$0,6 \leq n_q \leq 9$
$30 \leq n_s \leq 60$	Pelton de varios boquilla	$9 \leq n_q \leq 18$
$60 \leq n_s \leq 200$	Francis lenta	$18 \leq n_q \leq 60$
$n_s = 200$	Francis normal	$n_q = 60$
$200 \leq n_s \leq 450$	Francis rápida	$60 \leq n_q \leq 140$
$450 \leq n_s \leq 500$	Francis de varios Rodete	$140 \leq n_q \leq 152$
$500 \leq n_s \leq 1350$	Hélice	$152 \leq n_q \leq 400$

Figura 47 Clasificación de turbinas según n_s y n_q

Fuente: Diez (2009)

Las dimensiones de la turbina Francis tienen una estrecha relación con el número de revoluciones específico n_s . A continuación se presenta la variación de las dimensiones principales de la turbina con el incremento en el valor de n_s .

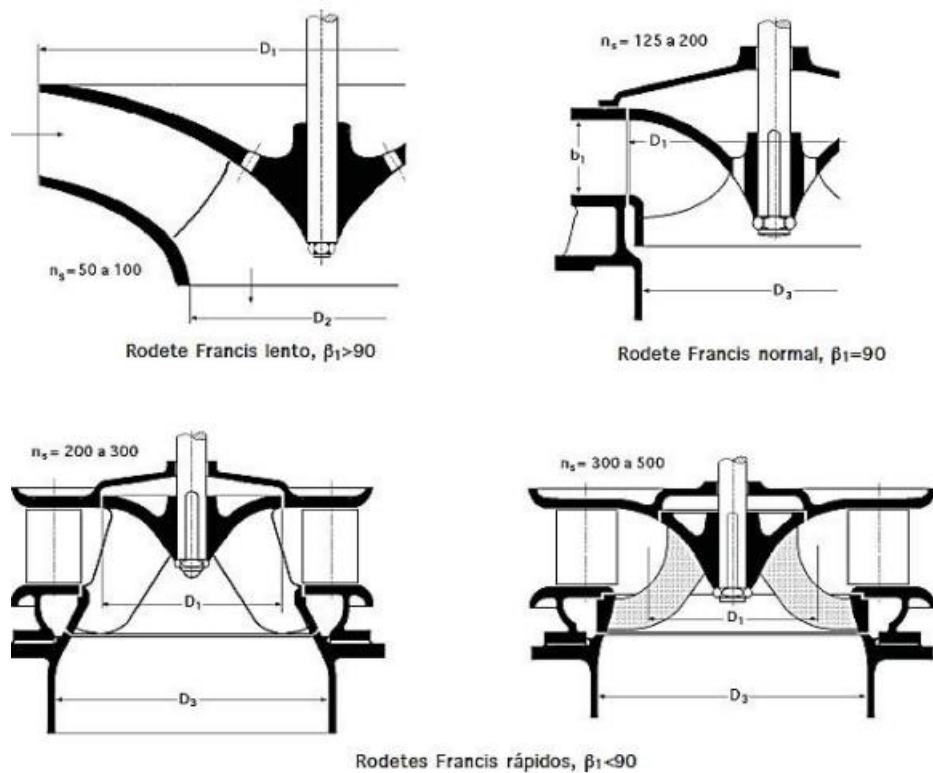


Figura 48 Rodetes de turbinas Francis

Una vez determinada la velocidad específica de rotación con respecto a la potencia, es necesario determinar las velocidades del agua a la entrada del rodete. Principalmente se requiere obtener la velocidad absoluta del agua y la velocidad periférica. Para el cálculo de la velocidad absoluta a la entrada del rodete se utiliza la siguiente ecuación (Diez, 2009):

$$c1 = \varphi1 * \sqrt{2 * g * H_n}$$

Donde:

$c1$: velocidad absoluta del agua a la entrada del agua. m/s

g : Gravedad, m/s^2 . H

n : Carga neta de la turbina en m.

$\varphi1$: Coeficiente de velocidad absoluta,

$$c1 = 0.975 * \sqrt{2 * 9.8 * 62.1} = 34.015 \text{ m/s}$$

El coeficiente de velocidad absoluta se obtiene utilizando el siguiente gráfico :

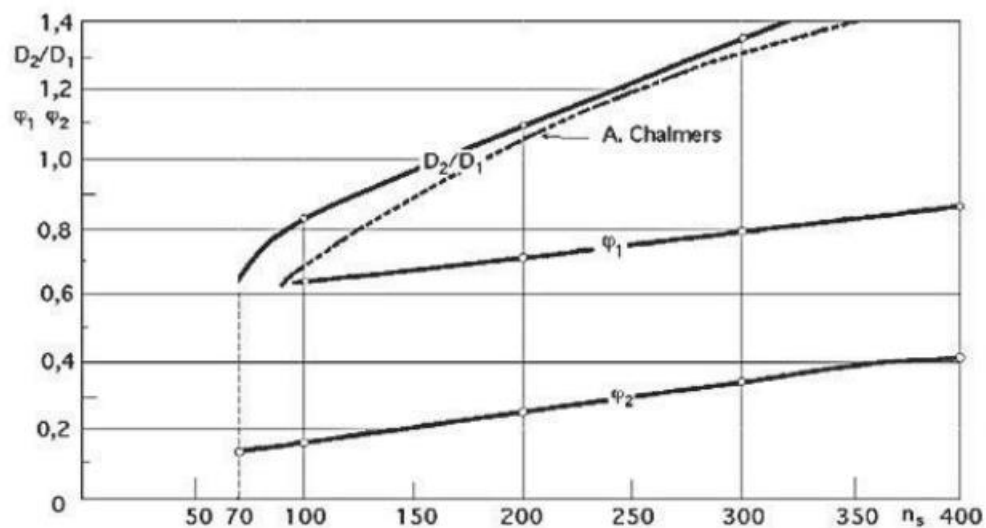


Figura 49 Coeficientes Óptimos de velocidad en función de la velocidad específica.

Para el cálculo de la velocidad absoluta como dato inicial se tiene la altura neta y el caudal nominal de la turbina que es el resultado del estudio hidrológico e hidráulico del proyecto específico. Según algunos autores el valor experimental para el coeficiente de velocidad absoluta a la entrada para condiciones de diseño igual a 0.975

Una vez determinada la velocidad absoluta a la entrada del flujo al rodete se determina la velocidad tangencial a la entrada del rodete con ayuda de la siguiente ecuación:

$$u_1 = \phi_1 * \sqrt{2 * g * H_n}$$

Donde:

u_1 : Velocidad periférica o tangencial del agua a la entrada del agua al rodete

g : Gravedad, en m/s².

H_n : Carga neta de la turbina en m.

ϕ_1 : Coeficiente de velocidad tangencial, adimensional.

El coeficiente de velocidad tangencial en función de n_s se lo determina en el siguiente gráfico:

$$u_1 = 0.45 * \sqrt{2 * 9.8 * 62.1} = 130.41 \text{ m/s}$$

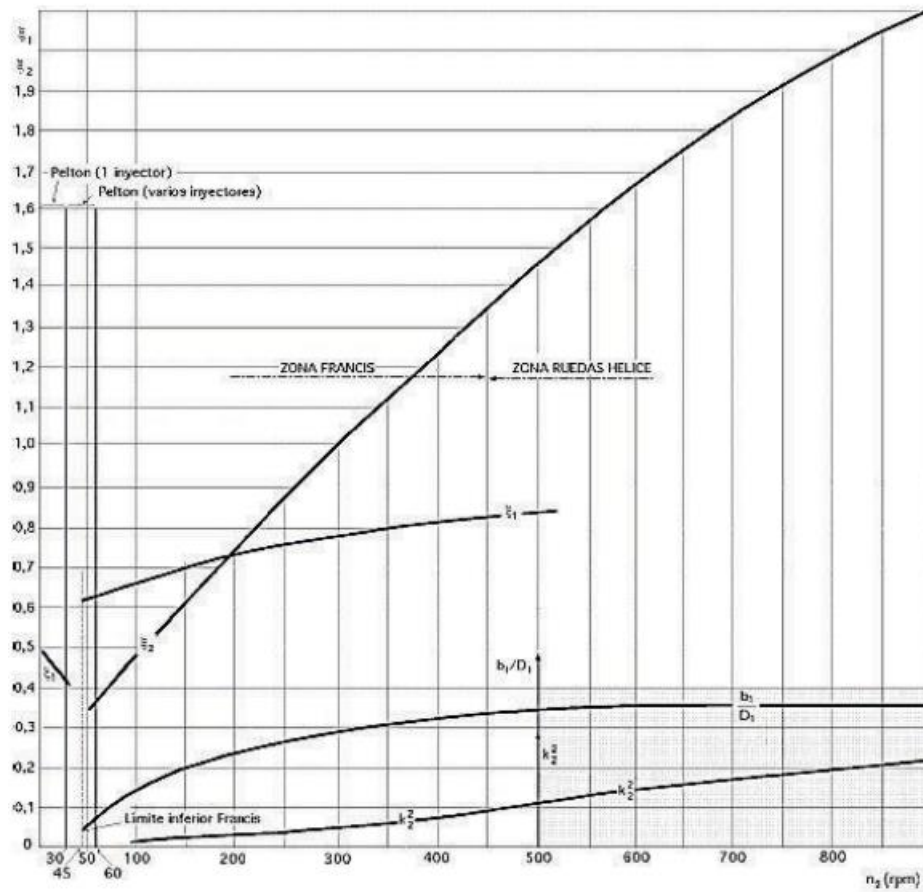


Figura 50 Coeficiente de velocidad tangencial en función de ns

Una vez determinada la velocidad tangencial, se define el diámetro primitivo de la turbina con la siguiente ecuación:

$$D1 = \frac{u1 * 60}{\pi * N} = \frac{130.41 * 60}{3.14 * 1200} = 2.0765 \text{ m}$$

Para el cálculo del diámetro de salida se utiliza la siguiente ecuación (Mataix, Turbomáquinas Hidráulicas: Turbinas Hidráulicas, Bombas y Ventiladores, 2009):

$$D2 = \sqrt[3]{\frac{100Q}{N}}$$

$$D2 = \sqrt[3]{\frac{100 * 5}{1200}} = 0.75 \text{ m}$$

Donde:

Q: Es el caudal nominal de la turbina, m³ /s.

N: velocidad de rotación de la turbina, en rpm

D₂: Diámetro de salida de la turbina, m.

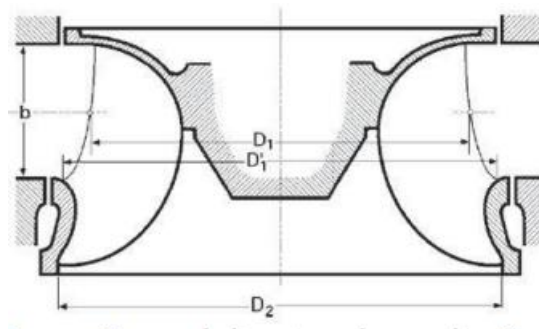


Figura 51 Esquema de dimensiones de una turbina Francis

El valor del ángulo de ataque α_1 del distribuidor tiene una relación con la velocidad específica en función de la potencia n_s , que se presenta en el siguiente gráfico:

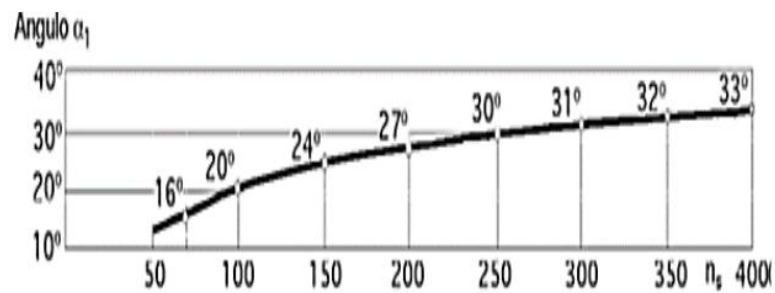


Figura 52 Ángulo de ataque α_1 en función de n_s

Finalmente se determina el rendimiento hidráulico de la turbina con la ecuación de Euler para rendimiento máximo:

$$H_u = \frac{u_1 * C_{1u}}{g}$$

$$H_u = 130.41 * \frac{34.015}{9.8} = 452.64$$

$$\eta_{hid} = \frac{u_1 * c_1 \cos \alpha_1}{g * H_n}$$

$$\eta_{hid} = \frac{130.41 * 34.015 \cos 30}{9.81 * 62.1} = 6.3$$

5.3.1.2. Cálculo del Angulo de entrada de los alabes en el rodete

Para el cálculo del ángulo de entrada de los alabes en el rodete, β_1 se utilizan los triángulos de velocidad:

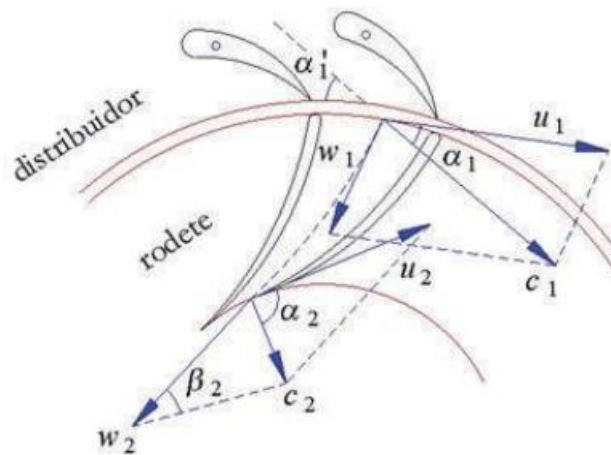


Figura 53 Triángulos de velocidad a la entrada y salida del rodete de una turbina Francis

Sintetizando los triángulos de entrada y salida por separado se tiene

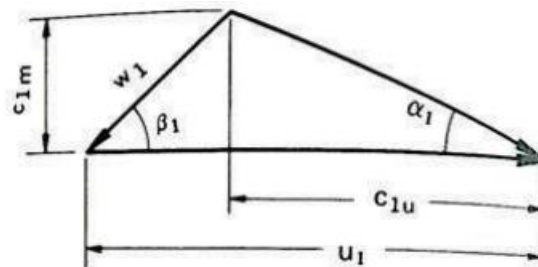


Figura 54 Triángulo de velocidad a la entrada de una turbina Francis.

$$\tan \beta_1 = \frac{c_1 \cos \alpha_1}{u_1 - c_1 \sin \alpha_1}$$

$$\tan \beta_1 = \frac{34.015 \cos 30}{130.41 - 34.015 \sin 30} = 0.26$$

$$\beta_1 = \arctan 0.26 = 14.57$$

5.3.1.3. Determinación de las características de la tubería de presión

Los espesores de la tubería han sido calculados teniendo en cuenta 15% de sobre presión por Golpe de ariete y un espesor por corrosión de 2 mm.

Tabla 18 Principales características de la tubería de presión

DATOS	CANT	UNIDADES
Caudal Disponible de la Fuente:	5.000	m ³ /S
Altura de la Caída de Agua:	62.10	m
Longitud de la Tubería:	70.00	m
Rendimiento de la Turbina:	91.00%	%
Rendimiento del Generador:	97.00%	%
Rendimiento del Transformador:	97.00%	%
Porcentaje de Perdidas en Tubería Deseado:	3.62%	%
RESPUESTAS	CANT	UNIDADES
Potencia Hidráulica Disponible =	3044.118	Kw-hydro
Diámetro Medio Recomendado de la Tubería =	0.943	m
Potencia Eléctrica Factible en la Central =	2512.079	Kw
Presión Teórica en la Descarga de la Tubería =	5.985	Kg/Cm ²
Velocidad de Descenso del H2O en la Tubería =	7.157	m/S
Velocidad de Salida del H2O en las Toberas de la Turbina =	34.280	m/S

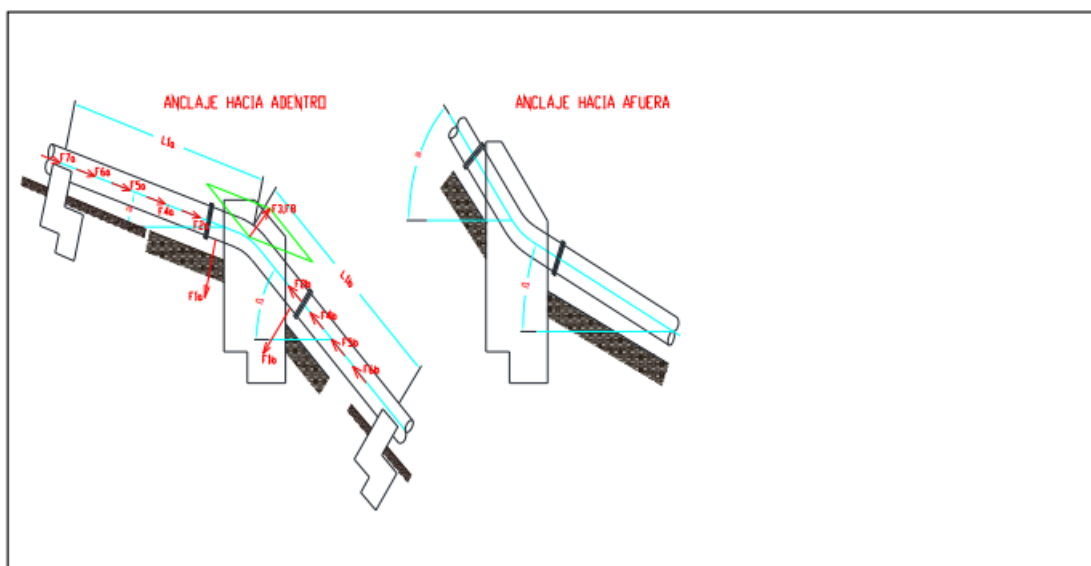


Figura 55 Anclajes propuestos

La tubería de presión inicia a la salida de la cámara de válvula en la cota 350 msnm y termina al ingresar a la casa de máquinas 280 msnm, tiene 10 bloques de anclaje y en su parte final se divide en dos mediante una bifurcación que se encontrará embebida en concreto. La Figura 35 muestra el perfil longitudinal de la tubería forzada.

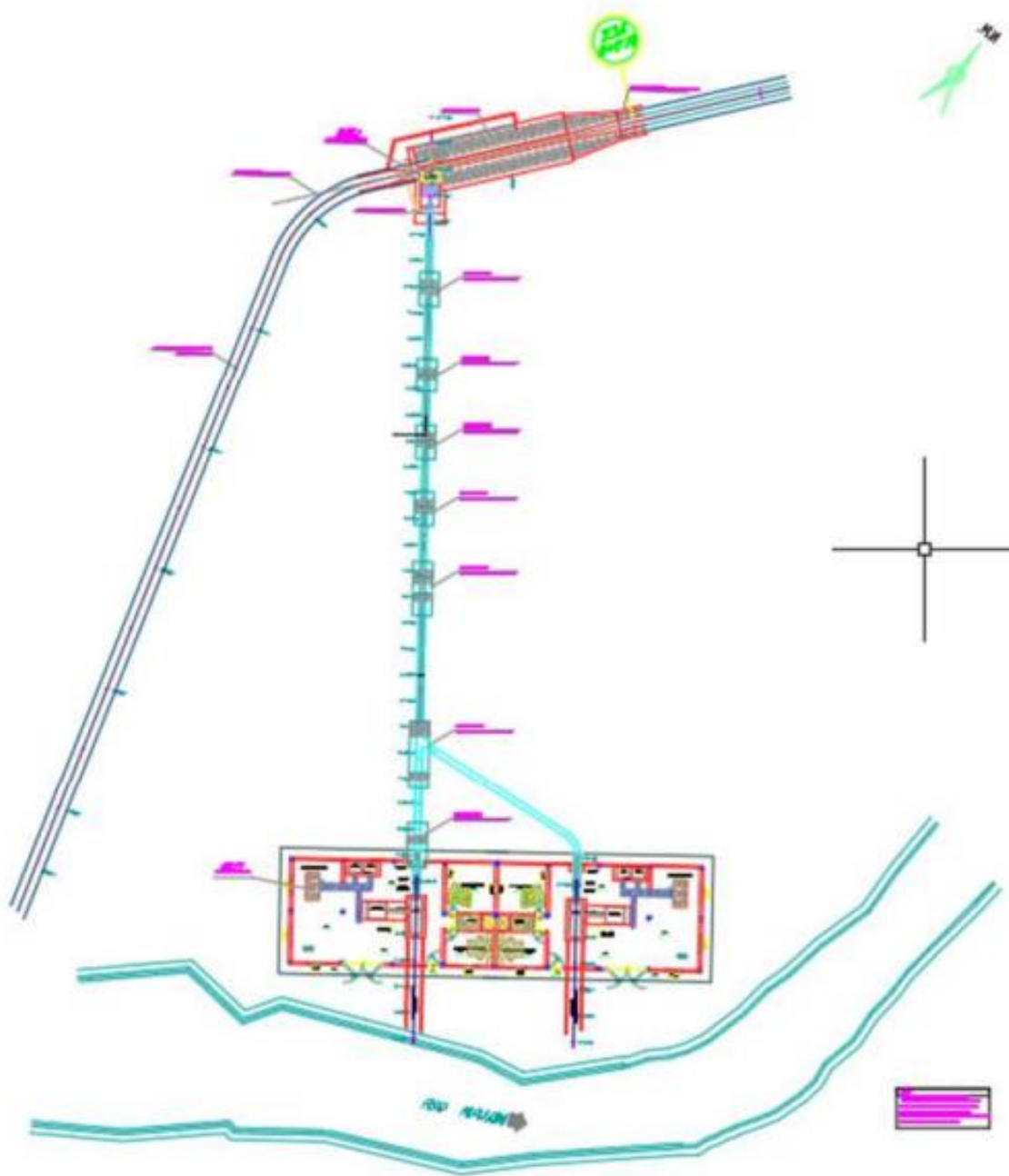


Figura 56 Perfil longitudinal de la tubería forzada

5.3.1.4. Potencia instalada

Para determinar la potencia disponible se aplica la siguiente ecuación:

$$Potencia_{(kW)} = 9,81 \times Q \times H_{neta} \times e$$

Q: Caudal (m³/s)

E: factor de eficiencia (0,9)

Reemplazando en la ecuación anterior se obtiene:

$$Potencia\ al\ eje_{(kW)} = 9,81 \times 2,5 \times 62,1 \times 0,9 = 1\ 371\ kW$$

5.3.1.5. Cálculo del número específico

Calculado el número específico:

$$n_s = \frac{(N \cdot P_i^{0,5})}{(H_N)^{1,25}}$$

Donde: N velocidad de sincronismo
 P_i potencia en el eje de la turbina = 1 371 kW
 H_N altura neta = 62,1 m

La velocidad de sincronismo se obtiene de la siguiente forma

$$N = \frac{2 \cdot f \cdot 60}{p}$$

Donde: N velocidad de sincronismo
 f frecuencia de línea que es 60Hz
 p número de polos (deben ser pares)

Para cada posible número de pares de polos se tiene una velocidad de sincronismo que es la velocidad a la que va a girar el eje del grupo.

Una mayor velocidad redundaría en un grupo de menores dimensiones (menor peso) pero implica una mayor exigencia mecánica y mayor abrasión del rodete.

Tabla 19
Velocidades síncronas para diferentes números de polos

Número de polos	Velocidad síncrona (rpm)
2	3 600
4	1 800
6	1 200
8	900
10	720

Nota: elaboración propia

De la tabla 8 se ha seleccionado la velocidad de 1 200 rpm (para 6 polos o 3 pares de polos).

Determinado la velocidad de sincronismo se procede al cálculo de la velocidad específica reemplazando en la ecuación de la velocidad específica se tiene:

$$n_s = \frac{(1\,200 \times (1\,371 \times 1000)^{0,5})}{(62,1)^{1,25}} = 254,85 \text{ rpm}$$

Luego el número específico es 254,85 rpm.

5.3.2. Cálculo de la potencia del generador

Se tiene la potencia de cada uno de los generadores en 1.4 MW.

Se calcula la corriente del generador:

$$PG = 9.81 * Q * Hn * eG$$

$$PG = 1\,446,85 \text{ kW}$$

5.4. Equipamiento de las subestaciones consideradas

5.4.1. Parámetros de diseño

Los parámetros utilizados en los cálculos de diseño eléctrico son los siguientes:

- Sistema Eléctrico : Trifásico
- Frecuencia : 60 Hz.
- Nivel de Tensión Nominal Sistema : 22,9 kV
- Nivel de Tensión Máximo Sistema : 24,0 kV

5.4.2. Coordinación de Aislamiento

El nivel de aislamiento requerido en el equipamiento a implementarse en la S.E. Najen en el nivel de tensión de 22,9 kV ha sido calculado de acuerdo a la norma IEC 60071-2, mostrándose en el siguiente cuadro las tensiones soportadas específicas mínimas obtenidas para la subestación:

Tabla 20 Resumen de las Tensiones Soportadas Específicas Mínimas – S.E. Najen

Tipo de Sobretenション	Temporal				Frente Lento				Frente Rapido			
	Fase - Tierra		Fase - Fase		Fase - Tierra		Fase - Fase		Fase - Tierra		Fase - Fase	
	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo
Paso 01: Sobreteniones Representativas (U _{rp}):	18.0 kV	18.0 kV	28.8 kV	28.8 kV	61.3 kV	61.3 kV	90.7 kV	90.7 kV	-	-	-	-
Paso 02: Tensiones de Coordinación (U _{cw}):	18.0 kV	18.0 kV	28.8 kV	28.8 kV	65.1 kV	65.1 kV	90.7 kV	90.7 kV	79.0 kV	102.2 kV	79.0 kV	102.2 kV
Paso 03: Tensiones Soportadas Especificadas (U _{rw}):	20.7 kV	26.7 kV	33.1 kV	42.6 kV	74.8 kV	96.3 kV	104.4 kV	134.3 kV	90.9 kV	151.3 kV	90.9 kV	151.3 kV
Paso 04: Conversión a Tensiones Soportadas Normalizadas	De Corta Duración a Frecuencia Industrial				37.4 kV	58.1 kV	52.2 kV	81.1 kV	-	-	-	-
	De Impulso Tipo Rayo				90.9 kV	161.3 kV	96.9 kV	161.3 kV	-	-	-	-
Paso 5: Selección de Tensiones Soportadas Estándar	De Corta Duración a Frecuencia Industrial (70 kV)								De Impulso Tipo Rayo (170 kV)			

De acuerdo a los resultados mostrados en el cuadro anterior, se observa que los niveles de Tensión de Soportabilidad Normalizada de Corta Duración a Frecuencia Industrial y de Impulso Tipo Rayo en la S.E. Najen son 70 kVp-BIL y 170 kVp-BIL respectivamente.

Por lo mencionado, el nivel de aislamiento mínimo de los equipos eléctricos, tomando en cuenta el factor de corrección indicado, está dado por los siguientes valores:

- S.E. Najen

- Tensión nominal del sistema : 22,9 kV
- Tensión máxima de servicio : 36,0 kV
- Tensión de sostenimiento a 60 Hz : 70,0 Kv
- Tensión de sostenimiento al impulso 1,2/50 : 170,0 kVp

5.4.3. Distancia de seguridad

Para analizar el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad dentro del patio de llaves de la subestación, entre el equipamiento y el suelo / estructuras, será necesario determinar el Valor Base del diseño, el cual corresponde a la distancia mínima fase-tierra en el aire de acuerdo con lo establecido en la norma IEC 60071-2, a fin de garantizar el espaciamiento adecuado que prevenga el riesgo de flameo aún bajo las condiciones más desfavorables.

Para el presente análisis se considera que el valor base de diseño es igual al valor de la distancia mínima fase-tierra incrementada en un 10%, obteniéndose un valor de 0,35 metros

Equipamiento de la Subestación

La Subestación en estudio debe contar con el siguiente equipamiento:

➤ **Transformador de Potencia**

Las principales características técnicas del transformador de potencia para la futura S.E. Najen son las siguientes:

- ✓ Tipo : Trifásico, 2 devanados
Sumergido en aceite
- ✓ Altitud de Instalación : 300 m.s.n.m.
- ✓ Frecuencia Nominal : 60 Hz
- ✓ Potencia Nominal ONAN : 3 MVA

- ✓ Relación de Transformación : $22,9 \pm 2 \times 2,5\% / 4,16 \text{ kV}$
- ✓ Grupo de Conexión : YnD11
- ✓ Impedancia de Cortocircuito : 10%
- ✓ Regulación : Vacío
- ✓ BIL lado primario (22,9 kV) : 170 kVef
- ✓ BIL lado secundario (4,16 kV) : 75 kVef

➤ **Pararrayos en 22,9kV**

Los Pararrayos serán del tipo “Óxido de Zinc” para uso al exterior o intemperie, cuya fabricación debe estar sujeta a las recomendaciones de la norma técnica IEC 99-4, y deberá estar contenida en un aislador de porcelana.

El pararrayo debe estar herméticamente sellado y a prueba de explosiones con bornes de tierra y para ser conectados en cada fase y tierra en un sistema eléctrico de 22,9 kV de tensión nominal.

El pararrayo utilizado en la S.E. Najen debe tener las siguientes características:

- ✓ Norma de Fabricación y Pruebas : IEC 99 - 4
- ✓ Clase de Descarga de Línea : 2
- ✓ Instalación : Exterior
- ✓ Tensión Nominal de la Red : 22,9 kV
- ✓ Tensión Máxima de Servicio : 24,0 kV
- ✓ Frecuencia Nominal : 60 Hz
- ✓ Tensión Nominal del Pararrayos : 21,0 kV
- ✓ Tensión de Operación Continua (COV) : 16,8 kV
- ✓ Corriente Nominal de Descarga en Onda 8/20 : 10 kA
- ✓ Material de las Resistencias no Lineales: Óxido de Zinc
- ✓ Altitud de Operación : 300 m.s.n.m.
- ✓ Material : Goma Silicón
- ✓ Nivel de Aislamiento al Impulso 1,2/50: 170 kV-BIL
- ✓ Línea de Fuga específica : 20 mm/ kV

➤ **Celda de Remonte 22,9 kV – Celda N° 07**

Las principales características técnicas de la Celda de remonte en 22,9 kV son:

- ✓ Tipo : Metal Clad a prueba de arco interno
- ✓ Instalación : Interior
- ✓ Altitud de Instalación : 300 m.s.n.m.
- ✓ Frecuencia Nominal : 60 Hz
- ✓ Tensión Nominal : 22,9 kV
- ✓ Tensión máxima del sistema : 24,0 kV
- ✓ Tensión máxima del equipamiento : 36,0 kV
- ✓ Aislamiento : Aire
- ✓ Capacidad nominal : 1 250 A
- ✓ Corriente de cortocircuito : 25 kA
- ✓ Grado de protección : IP 4X
- ✓ Tensión nominal continua : 125 Vcc
- ✓ Tensión nominal alterna : 230 Vac
- ✓ 01 seccionador de puesta a tierra
 - Norma : IEC 62271-102

➤ **Celda línea – transformación 22,9 kV – Celda N° 08**

Las principales características técnicas de la Celda línea - transformación en 22,9 kV son:

- ✓ Tipo : Metal Clad a prueba de arco interno
- ✓ Instalación : Interior
- ✓ Altitud de Instalación : 300 m.s.n.m.
- ✓ Frecuencia Nominal : 60 Hz
- ✓ Tensión Nominal : 22,9 kV

- ✓ Tensión máxima del sistema : 24,0 kV
- ✓ Tensión máxima del equipamiento : 36,0 kV
- ✓ Aislamiento : Aire
- ✓ Capacidad nominal : 1 250 A
- ✓ Corriente de cortocircuito : 25 kA
- ✓ Grado de protección : IP 4X
- ✓ Tensión nominal continua : 125 Vcc
- ✓ Tensión nominal alterna : 230 Vac
- ✓ 01 interruptor de potencia
 - Tipo : tripolar extraíble motorizado
 - Norma : IEC 62271-100
 - Frecuencia : 60 Hz
 - Medio de extinción de arco : vacío
 - Aislamiento a frecuencia industrial: 70 kV
 - Aislamiento a impulso 1,2/50 us : 170 kVef
 - Corriente nominal : 1250 A
 - Corriente cortocircuito (3 seg) : 25 kA
 - Corriente de interrupción asimétrica (3 seg): 100 kA
 - Secuencia de maniobra : O-0,3s-CO- 3min-CO
- ✓ 03 transformadores de corriente
 - Norma : IEC 60044-1
 - Frecuencia : 60 Hz
 - Aislamiento a frecuencia industrial: 70 kV
 - Aislamiento a impulso 1,2/50 us : 170 kVef
 - Relación de transformación : 100 / 1-1-1 A
 - 02 arrollamientos de Protección : 7,5 VA – 5P20
 - 01 arrollamiento de medición : 7,5 VA – Cl 0,2

✓ 03 transformadores de tensión

- Tipo : Inductivo
- Norma : IEC 60044-2
- Frecuencia : 60 Hz
- Aislamiento a frecuencia industrial: 70 kV
- Aislamiento a impulso 1,2/50 us : 170 kVef
- Relación de transformación : $22,9/\sqrt{3}$; $0,1/\sqrt{3}$; $0,1/\sqrt{3}$
- 01 arrollamientos de Protección : 7,5 VA – 3P
- 01 arrollamiento de medición : 7,5 VA – Cl 0,2

✓ 01 seccionador de puesta a tierra

- Norma : IEC 62271-102

5.4.4. Red a tierra

Al tratarse de un sistema pequeño – proyecto que se conecta a un sistema de distribución – el valor de la malla del sistema de puesta a tierra debe ser menor a cinco (05) ohm ¹.

Para la malla de tierra profunda se considera conductor de cobre desnudo (blando) de 120 mm² enterrado a 3,0 metros de profundidad; en tanto que para la puesta a tierra superficial se considera un conductor de cobre desnudo (blando) de 70 mm². Las conexiones del sistema de puesta a tierra se realizarán mediante soldadura exotérmica.

Los pozos de puesta a tierra tendrán una profundidad de 2,6 metros y estarán compuestos principalmente por una varilla de cobre de 3/4" y 2,4 m de longitud. Se considera tratamiento de la tierra con bentonita, hasta obtener una resistividad del terreno menor a 100 Ohm_m.

¹ Subestaciones de Alta y extra Alta Tensión – Mejía Villegas S.A.

5.4.5. Sistemas de Medición

El sistema de medición de la subestación contará con 05 medidores digitales multifunción de clase 0,2S, los cuales se ubicarán en:

- El tablero de control, protección y medición del Generador 01 – aquí se ubicará un (01) medidor, el cual se encargará de medir la energía generada por la unidad 01.
- El tablero de control, protección y medición del Generador 02 – aquí se ubicará un (01) medidor, el cual se encargará de medir la energía generada por la unidad 02.
- El tablero de control, protección y medición del transformador – aquí se ubicarán dos (02) medidores. El primero se encargará de medir el consumo de los SSAA y el segundo se encargará de medir la energía inyectada al transformador de potencia.
- El tablero de control, protección y medición de la línea – aquí se ubicará un (01) medidor, el cual se encargará de medir la generación neta de la central, descontado el consumo propio, al sistema de transmisión.

Los medidores de energía deberán cumplir las siguientes características:

- Medidor multifunción trifásico 230 V, bi-direccional, frecuencia 60 Hz
- Tipo: electrónico, modular, lectura directa que permita obtención de perfil de carga en diversos canales. Con Memoria de masa para almacenamiento de registros mensuales.
- Precisión 0,2S, medición de energía activa, reactiva, potencia activa, voltaje corriente, frecuencia y factor de potencia.
- Protocolo de comunicación : DNP 3.0/ IEC 61850/ Modbus
- Puerto de comunicación : RS 232, RS 485, Ethernet y fibra óptica (a futuro)

5.4.6. Sistema de protección

Los tableros de control, protección y medición serán del tipo gabinete autosoportado para instalación al interior a 300 m.s.n.m. con grado de protección IP 4X. Estos contarán con tensión auxiliar en corriente alterna de 230 Vac y en corriente continua de 125 Vdc.

Para el nivel de tensión de 22,9 kV de la S.E. Najen se prevé que el sistema de protección estará constituido por relés numéricos multifunción de alta confiabilidad e instrumentos de medición.

La Filosofía básica de operación de las protecciones es:

- Todas las fallas deben ser desconectados en un tiempo no mayor a 0,1 segundos.
- Cortocircuitos Trifásicos y Bifásicos serán desconectados normalmente como fallas trifásicas.
- Cortocircuitos serán desconectados de manera monofásica o trifásica.
- En caso de reconexión debido a falla, los cortocircuitos deberán ser desconectados de manera trifásica y definitiva dentro de 0,1 segundos. No se iniciará reconexión automática.
- En caso de reconexión automática ante falla persistente, todos los cortocircuitos deberán ser desconectados de manera trifásica dentro de 0,1 segundos.
- En caso de falla de interruptor, el cortocircuito deberá ser desconectado lo más rápido posible y no más allá de 0,3 segundos.
- Falla a tierra de alta impedancia y apertura de fase deberán ser desconectadas (de manera selectiva) por la protección residual.

El sistema de protección de la subestación en 22,9 kV, consistirá en lo siguiente

➤ **Relé de Protección del Transformador 22,9/4,16 kV – 3 MVA**

El relé de protección del transformador tendrá las siguientes funciones:

- Protección diferencial del transformador - 87 T
- Protección de sobretensión - 59
- Protección de frecuencia - 81
- Protección de sobrecorriente instantánea - 50
- Protección de sobrecorriente temporizada - 51
- Protección de sobrecorriente instantánea a tierra - 50N
- Protección de sobrecorriente temporizada a tierra - 51N
- Protección de sobrecorriente direccional – 67

- Protección de sobrecorriente direccional a tierra - 67N
- Protección de sobrecorriente de secuencia negativa - 46

Este relé estará ubicado en el Tablero de control, protección y medición del transformador (Tablero N°03), estando programado para bloquear a los interruptores cercanos al transformador tanto en el nivel de 22,9 kV como de 4,16 kV.

➤ **Relé Principal de la Línea 22,9 kV Najen – Achu**

El relé principal tendrá las siguientes funciones:

- Protección de sobrecorriente instantánea - 50
- Protección de sobrecorriente temporizada - 51
- Protección de sobrecorriente instantánea a tierra - 50N
- Protección de sobrecorriente temporizada a tierra - 51N
- Protección de sobrecorriente direccional – 67
- Protección de sobrecorriente direccional a tierra - 67N
- Sobrecorriente a tierra direccional en esquema Comparación Direccional – 67 NCD
- Protección de mínima tensión - 27
- Protección por sobretensión – 59
- Función de Sincronismo – 25
- Protección de Corriente de Secuencia Negativa – 46
- Protección de sobretensión Neutro – 59N
- Función Recierre - 79
- Protección de Falla del Interruptor – PFI / 50 BF
- Protección por rechazo de carga / Derivada y umbral – 81

➤ **Relé Secundario/respaldo de la Línea 22,9 kV Najen – Achu**

Al igual que el relé principal, el relé secundario tendrá las siguientes funciones:

- Protección de sobrecorriente instantánea - 50
- Protección de sobrecorriente temporizada - 51
- Protección de sobrecorriente instantánea a tierra - 50N
- Protección de sobrecorriente temporizada a tierra - 51N
- Protección de sobrecorriente direccional – 67
- Protección de sobrecorriente direccional a tierra - 67N
- Sobrecorriente a tierra direccional en esquema Comparación Direccional – 67 NCD
- Protección de mínima tensión - 27
- Protección por sobretensión – 59
- Función de Sincronismo – 25
- Protección de Corriente de Secuencia Negativa – 46
- Protección de sobretensión Neutro – 59N
- Función Recierre - 79
- Protección de Falla del Interruptor – PFI / 50 BF
- Protección por rechazo de carga / Derivada y umbral – 81

5.5. Cálculo del presupuesto de la pequeña central hidroeléctrica NAJEN.

Para el presupuesto de la central se considera lo siguiente:

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	GRUPOS				4,340,077.40
01.01	GRUPO TURBINA FRANCIS 2.5m ³ /s - Hn 62.1m - 1.3MW - 1200rpm - GENERADOR 1.4MW COMPLETA (INC. VALVULA, REGULADORES)	und	2.00	1,226,897.20	2,453,794.40
01.02	TABLEROS DE MEDICION PROTECCION Y CONTROL DE LOS GRUPOS DE GENERACION	und	2.00	251,730.00	503,460.00
01.03	TABLEROS DE REGULADORES DE VELOCIDAD Y TENSION	und	2.00	170,734.00	341,468.00
01.04	TABlero DE DISTRIBUCION DE CASA DE MAQUINAS	und	1.00	13,960.00	13,960.00
01.05	TABlero DE SERVICIOS AUXILIARES DE LOS GENERADORES	und	1.00	22,495.00	22,495.00
01.06	TABlero DE SERVICIOS AUXILIARES PRINCIPAL	und	1.00	43,260.00	43,260.00
01.07	TABlero CAGADOR RECTIFICADOR	und	1.00	95,172.00	95,172.00
01.08	TABlero SS AA 125 Vcc	und	1.00	47,300.00	47,300.00
01.09	CELDA DE SECCIONAMIENTO DE GENERADORES	und	2.00	134,057.00	268,114.00
01.10	CELDA DE SECCIONAMIENTO SUMATORIA	und	1.00	166,565.00	166,565.00
01.11	CELDA DE ALIMENTACION A SERVICIOS AUXILIARES	und	1.00	139,960.00	139,960.00
01.12	CUBICULOS DE NEUTRO DE LOS GENERADORES	und	2.00	21,630.00	43,260.00
01.13	BANCO DE BATERIAS	und	1.00	136,269.00	136,269.00
01.14	TRANSFORMADOR SS AA 150KVA, 4.16/0.4 KV 300msnm	und	1.00	65,000.00	65,000.00
02	GRUA PUENTE				222,160.00
02.01	GRUA PUENTE 15ton - 9m luz -6.5m ELEVACION - 18m VIGA CARRILERA	gib	1.00	222,160.00	222,160.00
03	DESADUANAJE, TRANSPORTE, SEGUROS				180,108.00
03.01	DESADUANAJE TRANSPORTE Y SEGUROS EQUIPO ELECTROMECHANICO IMPORTADO	gib	1.00	120,108.00	120,108.00
03.02	TRANSPORTES Y SEGUROS DE TABLEROS Y GRUA PUENTE A OBRA	gib	1.00	60,000.00	60,000.00
04	MONTAJE Y PRUEBAS				765,475.94
04.01	SUPERVISION DEL FABRICANTE DE TURBINAS	gib	1.00	120,000.00	120,000.00
04.02	SUPERVISION DEL FABRICANTE DE TABLEROS	gib	1.00	60,000.00	60,000.00
04.03	SUPERVISION DEL MONTAJE DE EQUIPO ELECTROMECHANICO, TABLEROS, GRUA Y PUENTE	gib	1.00	585,475.94	585,475.94
	COSTO DIRECTO				5,507,821.34
	GASTOS GENERALES				1,432,033.55
	UTILIDAD				550,782.13
	SUBTOTAL				7,490,637.02
	IMPUESTO (18%)				1,348,314.66
	TOTAL PRESUPUESTO				8,838,951.68
	SON : OCHO MILLONES OCHOCIENTOS TRENTIOCHO MIL NOVECIENTOS CINCUENTIUNO Y 68/100 SOLES				

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Para la obtención del caudal, se hicieron 3 métodos: Zonas de vida, área - velocidad, dilución con trazadores, para los cuales se obtuvieron los caudales, 14.959 y 22.45 respectivamente. De estos métodos, se tomó un valor promedio el cual se consideró un valor conservador y del lado de la seguridad, así el caudal con el que se trabajó fue 22.45 m³/s.
- Se logro realizar el diseño de los componentes electromecánicos que conformaran la central hidroeléctrica NAJEN, la cual tendrá una potencia instalada 2.5 MW, dos grupos generadores de turbinas Francis de 1.4 MW cada uno.
- Se calculo la demanda energética a partir del consumo por horas que tienen los habitantes pertenecientes al distrito del Cenepa – provincia de Condorcanqui región Amazonas.
- Se estimo el costo para la implementación de esta central eléctrica, el cual abarca los S/8 838,951.68.
- Las cuencas tienen un área de 1400 km² respectivamente y se localizan en las zonas de vida Bh-MT, Bosque muy húmedo Montano Tropical, PP-ST, Páramo pluvial Sub Alpino Tropical, Bp-MT y Bosque pluvial Montano Tropical. Cada zona con su información de biotemperatura, precipitación, evapotranspiración potencial

6.2. Recomendaciones

- Debido a la escasa información hidrológica disponible se recomienda instalar una estación hidrométrica en la zona de captación lo más pronto posible.
- Se recomienda eliminar el espesor de material orgánico, en un espesor mínimo de 0,20 m.
- El resultado del análisis físico – químico efectuado en las muestras representativas de los estratos, dichos valores se encuentran por debajo de los límites mínimos permisibles de agresividad al concreto, en lo que respecta a los sulfatos y sales solubles totales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ingfocol Ltda. (2015). *HIDROENERGÍA*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- Aguirre, F., & Hidrogo, N. (2020). "Estudio técnico y económico de una mini central hidroeléctrica para suministrar energía eléctrica al sector la arena, Distrito de Conchán, Chota, Cajamarca". (*Tesis de pregrado*). Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51422/Aguirre_CFM-Iidrogo_VNJ%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alarcón, N. (2016). "*Centrales Eléctricas I*". Obtenido de <https://compress-pdf.jpma.info/?fileurl=https%3A%2F%2Fzdocs.mx%2Fdownload-file%2Fintroduccion-a-centrales-electricas-i-bpdf-wp9ng9wymm15%3Fhash%3D693a11735aa5a2e9a825123https://compress-pdf.jpma.info/download/compresspdf>
- Arechua, G. (2018). "Diseño hidráulico de la tubería de presión de la mini central hidráulica Huaura, distrito de Paccho, provincia de Huaura, Lima". (*MONOGRAFÍA TÉCNICA*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10569/Arechua_dg.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- CABAL. (2014). Obtenido de "Guía de Buenas Prácticas - Minicentrales Hidroeléctrica": <https://www.sica.int/download/?89649>
- Caisachana, L., & Molina, W. (2012). "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO GENERADORA HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL RECURSO HÍDRICO EXISTENTE EN EL SECTOR ALUBILLO PERTENECIENTE AL CANTÓN CALUMA DE LA PROVINCIA DE BOLÍVAR". (*Tesis de Pregrado*). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, Ecuador. Obtenido de <https://xdoc.mx/documents/universidad-tecnica-de-cotopaxi-unidad-5e348b27e8cdd>
- Canchaya, C., & Chero, L. (2014). "Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de concepción perteneciente al departamento de Junín". (*Tesis de pregrado*). UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/556448/Tesis%20Canchaya%20-%20Chero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- comexperu. (2020). *ELECTRIFICACIÓN RURAL: NO PERDAMOS LAS ENERGÍAS*. Obtenido de <https://www.comexperu.org.pe/articulo/electrificacion-rural-no-perdamos-las-energias>
- Díaz, S. (2011). *La observación*. Obtenido de http://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/publicaciones/La_observacion_Lidia_Diaz_Sanjuan_Texto_Apoyo_Didactico_Metodo_Clinico_3_Sem.pdf

- energia-nuclear. (2020). *¿Qué es la energía eléctrica?* Obtenido de <https://energia-nuclear.net/energia/energia-electrica>
- Goyzueta, E. (2017). "ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA DEL DISTRITO DE PHARA-SANDIA-PUNO". (*Tesis de pregrado*). Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3602/Goyzueta_Arce_Elviz_JuIver.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Goyzueta, E. (2017). "ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA DEL DISTRITO DE PHARA-SANDIA-PUNO". (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de <https://docplayer.es/storage/81/82643001/1653353600/V6OIeDsrgs-GTswfN4ReuQ/82643001.pdf>
- Goyzueta, E. (2017). "ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA DEL DISTRITO DE PHARA-SANDIA-PUNO". (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de <https://docplayer.es/storage/81/82643001/1655781313/hXaDF6FaJtzpuUjw-lqFfw/82643001.pdf>
- Inoñan, J., & Vargas, J. (2010). "ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL REPOTENCIAMIENTO DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE OMIA DE 100 kW A 250 kW, UBICADO EN EL DISTRITO DE OMIA – PROVINCIA DE RODRÍGUEZ DE MENDOZA – DEPARTAMENTO DE AMAZONAS". (*Tesis de Pregrado*). "Universidad señor de Sipan", Pimentel, Perú. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4419/Ino%C3%B1an%20Ventura%20-%20Vargas%20Calderon%20.pdf?sequence=1>
- Julca, J. (2019). "REPOTENCIACIÓN DE LA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA Y REMODELACIÓN DE REDES DE LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN MIGUEL DE VI CHA YCOCHA-HUARAL". (*Tesis de pregrado*). UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Lima, Perú. Obtenido de https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/000/739/739903.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20220619%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20220619T220840Z&X-Amz-SignedHeaders=ho
- León, J. (2014). "RECURSOS POTENCIALES DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL ESTADO DE SINALOA, MÉXICO". (*Tesis de grado*). Atlantic International University, Sinaloa, México. Obtenido de <https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2014/jalv/jalv.pdf>
- Llamo, O. (2016). "Diseño De Una Mini Central Hidroeléctrica, Para Suministrar Energía Al Recreo Turístico La Catarata – Distrito, Provincia - Jaén, Departamento - Cajamarca - 2016". (*Tesis de pregrado*). Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/8870/gutierrez_llo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Llango, W., & Gallegos, E. (2012). "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO-CENTRAL HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL MOVIMIENTO DEL AGUA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA HACIENDA ECOLÓGICA BAÑOS DE LA PARROQUIA ALAQUEZ – PROVINCIA DE COTOPAXI". (*Tesis de Pregrado*). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1312/1/T-UTC-2051.pdf>
- Mallitasig, O. (2008). "MODELACIÓN Y DISEÑO DIGITAL PARA MICRO – CENTRALES DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA". (*Tesis de pregrado*). Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1073/1/CD-1906.pdf>
- Mena, E., & Mena, S. (2015). "DISEÑO Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CON UNA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE 16.8MW". (*Tesis de pregrado*). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA - SEDE QUITO, Quito, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8729/6/UPS-KT01077.pdf>
- Morales, C., & Saavedra, F. (2017). "DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MUNICIPIO DE PISBA, BOYACÁ". (*Tesis de pregrado*). Obtenido de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2632/1/TGT_1246.pdf
- Olade. (1985). "GUÍA DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS". Bucaramanga, Colombia: Bid. Recuperado el 07 de Julio de 2022, de <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0125.pdf>
- Ortiz, R. (2011). *Pequeñas centrales hidroelectricas*. Obtenido de <http://rirc.itiud.org/Documents/1589243000.pdf>
- OSINERMIN. (2009). *Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables*. Obtenido de <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/D.%20Leg.%201002-CONCORDADO.pdf>
- Palma, D., & Peña, C. (2018). "DISEÑO DE UNA TURBINA TIPO KAPLAN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA". (*Tesis de pregrado*). Obtenido de <https://docplayer.es/135767250-Diseno-de-una-turbina-tipo-kaplan-para-la-generacion-de-energia-hidraulica-daniela-palma-reyes-cristian-david-pena-espitia.html>
- Palomeque, V., & Valdez, I. (2019). "DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA ABASTECER LA DEMANDA DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE PLANTACIONES MALIMA CÍA. LTDA.". (*Tesis de pregrado*). Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17404/1/UPS-CT008315.pdf>
- Pequeñas centrales hidroelectricas*. (2015). Obtenido de <http://rirc.itiud.org/Documents/1589243021.pdf>

perutoptours. (2021). *MAPA DE LA PROVINCIA DE CONDORCANQUI*. Obtenido de http://www.perutoptours.com/index01co_mapa_condorcanqui.html

Revilla Figueroa, D. M. (2018). Obtenido de TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN EDUCACIÓN CON MENCIÓN EN CURRÍCULO:
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13900/ROJAS_BO_NILLA_MAR%C3%8DA_LUZ1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Silva, S. (2018). “REINGENIERÍA DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA EMPRESA CENTRAL AZUCARERA CHUCARAPI PAMPA BLANCA S.A DE 370 KW”. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/233005028.pdf>

ticbeat. (Mayo de 2019). *El 11% de la población mundial sigue sin acceso a la electricidad*. Obtenido de <https://www.ticbeat.com/tecnologias/1-de-cada-diez-habitantes-planeta-sigue-sin-acceso-electricidad/>

ANEXOS



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION N°041-2024-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 09:00 a.m. del día martes 19 de marzo de 2024, Se reunieron vía plataforma virtual <http://meet.google.com/ccf-edzq-tts>, los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°057-2024-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 15 de marzo 2024, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación del Tesis ordinaria, conformado por los siguientes catedráticos:

M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ
ING. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ
M.Sc. Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA
Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO
ASESOR

Se recibió la Tesis ordinaria titulada:

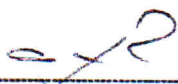
**"DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELECTRICA NAJEN
PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO A LAS COMUNIDADES NATIVAS PERTENECIENTES
AL DISTRITO DE EL CENEP- PROVINCIA DE CONDORCANQUI- REGION
AMAZONAS"**

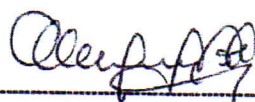
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **CORREA CASTILLO YAMNER ANTONY.**

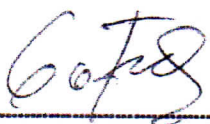
Finalizada la sustentación de la Tesis ordinaria, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (16) en la escala vigesimal, mención **BUENO.**

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

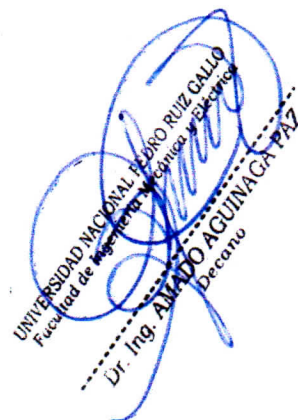
Siendo las 10:00 a.m del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:


M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ
PRESIDENTE


ING. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ
SECRETARIO


M.Sc. Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA
MIEMBRO


Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO
ASESOR


UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Dr. Ing. AMADO AGUAYO PAZ
Decano

ANEXO 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO**, usuario revisor del documento titulado: **"DISEÑO ELECTROMECANICO DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELECTRICA NAJEN PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO A LAS COMUNIDADES NATIVAS PERTENECIENTES AL DISTRITO DE EL CENEPÁ- PROVINCIA DE CONDORCANQUI-REGIÓN AMAZONAS"**

Cuyo autor es, **CORREA CASTILLO YAMNER ANTONY**, identificado con documento de identidad **N° 75126380**, declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **15%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 21 de marzo del 2024

DR. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

DNI:16477153

ASESOR

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automático de similitudes

*Recibo Digital

DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELECTRICA NAJEN PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO A LAS COMUNIDADES NATIVAS PERTENECIENTES AL DISTRITO DE EL CENEP-PROVINCIA DE CONDORCANQUI-REGIÓN AMAZONAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

15 %

INDICE DE
SIMILITUD

14%

FUENTES DE
INTERNET

5%

PUBLICACIONE
S

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

nanopdf.com

Fuente de Internet

3%

2

www.mindomo.com

Fuente de Internet

1 %

3

repositorio.unprg.edu.pe:8080

Fuente de Internet

1 %

4

www.minem.gob.pe

Fuente de Internet

1 %

5

OSCAR YANGALI INGENIERIA E.I.R.LTDA..

"DIA del Proyecto Línea de Transmisión 60 kV
S.E. Potrero - S.E. Aguas Calientes 4.97 km-
IGA0002139", R.D. N° 130-2014-MEM/DGAAE,
2020

Publicación

1 %



Dr. Daniel Carranza Montenegro
ASESOR

6

Submitted to Universidad Nacional Pedro
Ruiz Gallo

1 %





Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Yamner Antony Correa Castillo Entrega2
Título del ejercicio: DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDR...
Título de la entrega: Tesis_YACC_V2.1.pdf 3.85M
Nombre del archivo: 131
Tamaño del archivo: 22,594
Total páginas: 126,435
Total de palabras: 01-mar.-2024 08:18p. m. (UTC-0500)
Total de caracteres: 2309337018
Fecha de entrega:
Identificador de la entrega...

Dr. Daniel Carranza Montenegro
ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL**
"PEDRO RUIZ GALLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS
Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

(
"DISEÑO ELECTROMECHANICO DE LA PEQUEÑA CENTRAL
HIDROELECTRICA NAJEN PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO A
LAS COMUNIDADES NATIVAS PERTENECIENTES AL
DISTRITO DE EL CENEPÁ-PROVINCIA DE CONDORCANQUI-
REGIÓN AMAZONAS"
)

Autor:
(
Bach. YAMNER ANTONY CORREA CASTILLO
)

Asesor:
Dr. CARRANZA MONTENEGRO DANIEL

LAMBAYEQUE - PERÚ
2023